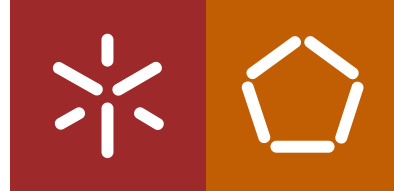


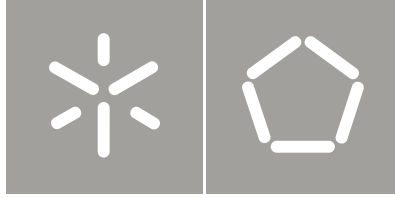


Planeamento e Implementação de Metodologias e Ferramentas da Qualidade no projeto de um painel para autorrádio

Jorge Nuno da Cruz Lima Novo

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia





Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Jorge Nuno da Cruz Lima Novo

Planeamento e Implementação de  
Metodologias e Ferramentas da Qualidade  
no projeto de um painel para autorrádio

Tese de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efectuado sob a orientação do  
Professor Doutor Sérgio Dinis Sousa

## **AGRADECIMENTOS**

Dedico este espaço a todas as pessoas que me apoiaram na realização deste trabalho, apesar de ser um trabalho individual, pela sua motivação e no seu desenvolvimento, deixando em registo as que estiveram mais presentes.

Os meus agradecimentos vão:

- Para o Professor Sérgio Dinis Sousa, orientador do trabalho, pela sua disponibilidade, atenção demonstrada e utilidade das informações que me cedeu.
- Para os meus pais, com uma palavra de grande estima porque sempre me apoiaram, principalmente na formação académica.

A todos um muito obrigado!

## **RESUMO**

A certificação de uma empresa do ramo automóvel, com base na norma ISO/TS 16949 envolve vários processos e requer melhoria contínua dos mesmos. Esta certificação existe na Delphi em Braga e está associada à satisfação das necessidades do Cliente.

Para a certificação da empresa e obtenção de vantagens competitivas, são utilizadas determinadas ferramentas e metodologias da qualidade, como o Planeamento Avançado da Qualidade do Produto e Plano de Controlo (APQP), o Controlo Estatístico do Processo (CEP) e a Análise dos Sistemas de Medição (MSA). Neste trabalho serão aplicadas estas ferramentas e metodologias no projeto de um painel para autorrádio, na empresa Delphi.

O APQP é uma metodologia da qualidade que abrange as etapas do projeto de um produto e respetivos processos. No presente trabalho de aplicação desta metodologia, são realçadas ferramentas da qualidade, que respondem às exigências do respetivo desenvolvimento. Desta forma, apresenta-se o plano de controlo da área de injeção. O Processo de Aprovação de Peça de Produção (PPAP) realiza-se para validar o processo de aprovação de produção inicial, de um produto junto do cliente. Nesta etapa verificam-se variáveis críticas do projeto e a capacidade do processo em produzir peças dentro das especificações requeridas. Após o estudo destes indicadores e verificação da sua aceitabilidade, o processo é aprovado para uma produção inicial.

Implementou-se o CEP em processos da Delphi de Braga de forma a diminuir ou prevenir as falhas, retrabalho e peças defeituosas durante a produção. Esta ferramenta, visa controlar os desvios do processo, através de ações despoletadas quando os limites de controlo são ultrapassados. Foram também analisados dados históricos de processos e feita a formação dos operadores. Na implementação dos limites de controlo comprovou-se que o processo se apresenta sob controlo estatístico. O MSA foi utilizado para a validação dos equipamentos e dos operadores na medição de determinadas variáveis críticas, incluindo análises de R&R, de modo a verificar se o controlo do processo é confiável. Este estudo, além de verificar a fiabilidade do equipamento analisa também o comportamento dos operadores, no controlo dimensional do processo da área de injeção. Desta forma, verificou-se através do estudo R&R que o paquímetro digital de 300 mm é aceitável para o controlo dimensional.

**Palavras-chave:** APQP e Plano de Controlo, CEP e MSA.

## **ABSTRACT**

Certification of an automotive company, based on ISO/TS 16949 involves several processes and requires continuous improvement of the same. This certification exists in Delphi in Braga and is associated with meeting the needs of customers.

For the certification of the company and to obtain competitive advantages, are used certain quality tools and methodologies, as the Advanced Planning of Product Quality and Control Plan (APQP), Statistical Process Control (SPC) and Measurement Systems Analysis (MSA.) This work will apply these tools and methodologies in the design of a car radio panel, in Delphi Company.

The APQP is a quality methodology which covers the stages of designing a product and respective processes. With this analysis, the application of this methodology is highlighted quality tools that meet the requirements of the respective development. Thus, it presents the plan for monitoring the injection area. The Process of Production Part Approval (PPAP) is carried out to validate the approval process for initial production of a product from the customer. At this stage, there are critical variables in the design and process capability to produce parts within specifications. After studying these indicators and to check its acceptability, the process is approved for an initial production.

CEP was implemented in the Delphi Company process of Braga in order to reduce or prevent failures, rework, and defective parts during production. This tool, aims to control the deviations of the process, through actions triggered when the control limits are exceeded. Were also analyzed historical data for process and made the training of operators. In the implementation of the control limits proved that the process is presented in statistical control. The MSA was used to validate the equipment and operators in the measurement of certain critical variables, including analysis of R&R in order to verify that process control is reliable. This study, in addition to verifying the reliability of the equipment also, analyzes the behavior of operators in dimensional control of the process in the area of injection. Thus, it was found by studying the R&R caliper of 300 mm is acceptable for the dimensional control.

**Keywords:** APQP and Control Plan, SPC and MSA.

## ÍNDICE

Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract.....	iv
Índice.....	v
Índice de Figuras.....	viii
Índice de Tabelas .....	x
Simbologia e Abreviaturas.....	xi
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento da Investigação .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.3. Metodologia de Investigação .....	3
1.4. Estrutura do Trabalho .....	3
2. Revisão Bibliográfica.....	5
2.1. História da Qualidade e Conceitos.....	5
2.2. Certificação de Qualidade na Indústria Automóvel .....	10
2.2.1. Requisitos para um SGQ .....	11
2.3. O Processo de Desenvolvimento de Produtos na Indústria Automóvel .....	15
2.3.1. Planeamento Avançado da Qualidade do Produto .....	16
2.3.2. Plano de Controlo .....	19
2.4. Controlo Estatístico do Processo .....	22
2.4.1. Sistema de Controlo Da Qualidade .....	22
2.4.2. Variabilidade do Processo .....	23
2.4.3. Comportamento do Processo .....	26
2.4.4. Cartas de Controlo e sua Aplicação .....	27
2.4.5. Capacidade do Processo.....	30

2.5. Análise dos Sistemas de Medição .....	32
2.5.1. Discriminação.....	33
2.5.2. Estudo dos Dados de Inspeção .....	35
2.5.3. Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R) .....	36
3. A Empresa Delphi Automotive Systems e o Sistema Produtivo .....	45
3.1. Empresa, Produtos e Clientes .....	45
3.2. Enquadramento na Delphi em Braga.....	47
3.3. Descrição das Áreas de Produção e de Análise da Fábrica de Plásticos .....	47
3.3.1. Área de Injeção.....	48
3.3.2. Área de Análise.....	50
4. Plano de Controlo .....	54
4.1. Introdução.....	54
4.2. Plano de Controlo do Škoda 25 .....	55
4.2.1. Definição dos Equipamentos para Controlo .....	56
4.2.2. Plano da Injeção .....	59
4.3. Controlo Estatístico de Processo (CEP) .....	63
4.3.1. Aprovação do Produto na Empresa .....	64
4.3.2. Gráficos de Controlo .....	70
4.3.3. Ajustamento do Processo.....	72
4.3.4. Elaboração das Cartas de Controlo e o seu Desenvolvimento.....	75
5. Análise dos Sistema de Medição .....	78
5.1. Estudo de Repetibilidade e Reprodutibilidade .....	79
5.1.1. Estudo do Sistema de Medição por Variáveis.....	79
6. Conclusão .....	86
Bibliografia .....	88

ANEXOS .....	I
Anexo A – Tabela de Constantes para as Cartas de Controlo (Manual SPC, 2005) .....	II
Anexo B – Valores Associados com a Distribuição para as Amplitudes das Médias ( $d_2$ ) .....	III
Anexo C – Plano de Controlo.....	IV
Anexo D – Plano de Injeção .....	VI
Anexo E – Registo do Controlo por Atributos .....	VII
Anexo F – Carta de Controlo .....	VIII
Anexo G – Relatório de Calibração do Paquímetro Digital de 300 mm .....	IX
Anexo H – Estudo de R&R para o Paquímetro Digital .....	X



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Relacionamentos com a Qualidade (ISO 9000:2005).....	6
Figura 2 – Modelo de um SGQ baseado em processos (ISO 9001:2008).....	9
Figura 3 – Conjunto de normas que envolve a ISO/TS 16949 .....	11
Figura 4 – Curva da distribuição normal (adaptado de Oakland, 2008) .....	24
Figura 5 – Variabilidade do processo, devido a ajustes frequentes (Oakland, 2008) .....	25
Figura 6 – Amostras individuais e amostras de tamanho n. (Oakland, 2008) .....	25
Figura 7 – Controlo pelos limites de especificação (adaptado de Duret, et al, 2009) .....	26
Figura 8 – Princípios da carta de controlo (Oakland, 2008) .....	27
Figura 9 – Impacto do ndc, segundo o Manual MSA (2002) .....	34
Figura 10 – Capacidade de inspeção nas tolerâncias de especificação, (Oliveira, 2006).....	36
Figura 11 – Repetibilidade (Manual MSA, 2002) .....	37
Figura 12 – Reprodutibilidade (Manual MSA, 2002) .....	37
Figura 13 – R&R (Manual MSA, 2002) .....	38
Figura 14 – Exemplo de uma folha de dados para o estudo R&R, baseado no Manual MSA .....	40
Figura 15 – Planta da fábrica Delphi em Braga. ....	45
Figura 16 – Os principais clientes da história da Delphi Braga.....	46
Figura 17 – Os produtos da fábrica de plásticos Delphi Braga. ....	47
Figura 18 – <i>Layout</i> do edifício 2 da Delphi .....	48
Figura 19 – Ordem de produção.....	48
Figura 20 – Fluxograma da área de injeção.....	49
Figura 21 – Máquina de injeção e o desumidificador.....	49
Figura 22 – Armazenamento de <i>stock</i> da área de injeção.....	50
Figura 23 – Laboratório de análise 1.....	51
Figura 24 – Zona amarela de armazenamento. ....	52
Figura 25 – Laboratório de análise 2.....	52

Figura 26 – Componentes da blenda Škoda 25 .....	56
Figura 27 – Requisito funcional da peça <i>Trimplate – Blank</i> .....	58
Figura 28 – Dispositivo de controlo funcional (Jig2) .....	58
Figura 29 – (a) “Passa”; (b) “Não passa” .....	59
Figura 30 – Dimensões do <i>Trimplate – Blank</i> .....	64
Figura 31 – Histograma de frequência relativa .....	66
Figura 32 – Teste Ryan-Joiner.....	66
Figura 33 – Análise do gráfico X .....	68
Figura 34 – Análise do gráfico AM.....	68
Figura 35 – Posição e distribuição .....	69
Figura 36 – Análise do gráfico X-barra.....	73
Figura 37 – Análise do gráfico s.....	73
Figura 38 – Análise do gráfico X-barra após ajustamento.....	74
Figura 39 – Análise do gráfico s após ajustamento .....	74
Figura 40 – Informação para o registo do controlo dimensional .....	75
Figura 41 – Introdução dos dados do controlo dimensional .....	76
Figura 42 – Estrutura do plano de controlo, baseado em Chrysler Corporation, et al, 1995.....	IV
Figura 43 – Recolha de dados .....	X
Figura 44 – Análise das medições .....	XI

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Requisitos mínimos de um plano de controlo .....	20
Tabela 2 – Formulas para o gráfico das médias (Manual SPC, 2005) .....	29
Tabela 3 – Formulas para o gráfico s (Manual SPC, 2005) .....	29
Tabela 4 – Índices de capacidade para um processo produtivo .....	32
Tabela 5 – Critério de R&R .....	43
Tabela 6 – Identificação das áreas e <i>blisters</i> . .....	51
Tabela 7 – Equipamentos de medida .....	53
Tabela 8 – Seleção do equipamento de medição.....	57
Tabela 9 – Dimensões para o controlo funcional do <i>Trimplate – Blank</i> .....	58
Tabela 10 – Frequência da amostra (Anexo D) .....	60
Tabela 11 – Limites de especificação para o controlo dimensional .....	64
Tabela 12 – Recolha de dados da dimensão A (mm).....	65
Tabela 13 – Amplitudes móveis (AM) da amostra.....	67
Tabela 14 – Recolha de dados na produção do <i>Trimplate – Blank</i> .....	72
Tabela 15 – Novos limites de controlo para a peça <i>Trimplate – Blank</i> .....	73
Tabela 16 – Dados da colaboradora A (mm) .....	80
Tabela 17 – Dados do colaborador B (mm).....	80
Tabela 18 – Dados do colaborador C (mm).....	81
Tabela 19 – Média das médias e amplitudes médias dos colaboradores A, B e C (mm) .....	81
Tabela 20 – Parte do plano de controlo (Área de injeção) .....	V

## **SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS**

APQP – Planeamento Avançado da Qualidade do Produto e Plano de Controlo (do Inglês – *Advanced Product Quality Planning and Control Plan*)

ARL – número esperado de amostras recolhidas para detetar um desvio na média do processo (do Inglês – *Average Run Length*)

CEP – Controlo Estatístico do Processo

CQ – Controlo de Qualidade

CQT – Controlo de Qualidade Total

FMEA – Análise de Modos de Falha e Efeitos (do Inglês – *Failure Modes and Effects Analysis*)

ISO – *Internacional Organization for Standardization*

LIE – Limite Inferior de Especificação

LSE – Limite Superior de Especificação

MSA – Análise dos Sistemas de Medição (do Inglês – *Measurement System Analysis*)

PPAP – Processo de Aprovação de Peça de Produção (do Inglês - *Production Part Approval Process*)

SGQ – Sistema de Gestão da Qualidade

TQM – Gestão da Qualidade Total (do Inglês – *Total Quality Management*)

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. Enquadramento da Investigação**

A International Automotive Task Force (IATF), que consiste num grupo internacional de fabricantes de veículos e associações comerciais nacionais, desenvolveu um padrão em conjunto com a ISO, chamado ISO / TS 16949. Esta especificação baseada na ISO 9001:2000 alinha requisitos de empresas do sector automóvel dos E.U.A. (QS-9000), alemães (VDA6.1), franceses (EAQF) e Italianos (AVSQ) para estabelecer uma norma técnica que os Sistemas de Gestão da Qualidade devem satisfazer (Cintra, 2005).

A utilização de uma norma técnica de qualidade ISO / TS 16949 permite a implementação de métodos comuns e consistentes da qualidade para a indústria automóvel global, de modo a atingir níveis de classe mundial de qualidade do produto, produtividade, competitividade e melhoria contínua (Karth, 2004).

Para a conceção de produtos neste setor, a referida norma exige a utilização da metodologia Planeamento Avançado da Qualidade do Produto (APQP) que implica a utilização de algumas ferramentas da qualidade e um plano de controlo para apoiar um plano de qualidade no processo de produção (Bobrek, et al, 2005).

As principais ferramentas de apoio à implementação do APQP são o desenvolvimento do Plano de Controlo da produção, Análise do Tipo e Efeito de Falha (FMEA), Controlo Estatístico do Processo (CEP), Análise dos Sistemas de Medição (MSA) e o Processo de Aprovação de Peça de Produção (PPAP) (Chrysler Corporation, et al, 1998).

O Plano de Controlo da produção é uma extensão lógica do plano de controlo de pré-lançamento, em que se utilizam técnicas analíticas adequadas para cumprir diferentes requisitos associados ao processo de planeamento da qualidade. Este plano requer a descrição das medições dimensionais, materiais e testes funcionais que serão usados para controlar peças e processos para produção (Thisse, 1998).

O Controlo Estatístico do Processo (CEP) é um método importante nas indústrias de manufatura e de processos. O seu objetivo é monitorizar o desempenho de um processo ao longo do tempo, a fim de verificar se o processo está sob controlo estatístico. Esta análise de controlo estatístico

para determinado processo ou produto revê a variação que afeta o processo e se são significantes as suas variações, de modo a evitar desperdício de materiais (Smith, et al, 2007).

O processo de aprovação de peça de produção (PPAP) tem como objetivo determinar se todos os registos dos projetos de engenharia dos clientes e requisitos de especificação são devidamente compreendidos pelo fornecedor e que o processo tem o potencial para produzir produtos que satisfaçam esses requisitos durante uma produção real (Chrysler Corporation, et al, 1998).

A análise dos sistemas de medição (MSA) compara a qualidade e a exatidão das medições executadas por equipamentos de medida e operários. Esta técnica padronizada (Feigenbaum, 1994), identifica os operadores e os instrumentos de medição não adequados às variáveis a medir.

O trabalho proposto para esta dissertação realiza-se numa indústria que produz componentes de autorrádios. Este trabalho irá aplicar o APQP de uma blenda e respetivos botões para um modelo da Škoda na fábrica de plásticos da Delphi em Braga, incidindo na secção de Injeção de peças termoplásticas. Este trabalho irá destacar o Plano de Controlo da Qualidade, CEP e o MSA.

## **1.2. Objetivos**

Os principais objetivos deste trabalho são:

- Realizar uma análise ao Sistema de Gestão da Qualidade na secção da Injeção e identificar as variáveis críticas da qualidade no processo produtivo.
- Contribuir para o Planeamento Avançado da Qualidade do Produto e Plano de Controlo de um novo produto na empresa com a utilização de metodologias e ferramentas da qualidade de modo a garantir uma boa conduta na conceção do produto.
- Apresentar propostas de melhoria que visem melhorar o sistema da qualidade.

### **1.3. Metodologia de Investigação**

A metodologia aplicada no desenvolvimento da presente dissertação é o estudo do caso. Esta metodologia foca o estudo mais detalhado sobre um número restrito de temas, de maneira a aprofundar a sua investigação. É adequado para o estudo descritivo ou para compreender a complexidade de um caso. Segundo Macnealy (1997), é uma necessidade de explorar uma situação que não está bem definida.

Face à sua uma forte componente descritiva, conduz a um profundo alcance analítico.

A fase do estudo de caso apresenta-se com o planeamento relacionado com a conceção da investigação, recolha de dados e posteriormente a sua análise.

Relativamente à garantia da fiabilidade deste estudo torna-se difícil de alcançar, porque o investigador é o principal, e muitas vezes único “instrumento” do estudo (Vieira, 1999) a, acrescentar que o “caso” em si não pode ser replicado ou reconstruído. No entanto, a questão da fiabilidade não pode deixar de ser colocada se queremos que ao nosso estudo de caso seja reconhecida pertinência e valor (Yin, 1994).

Este método necessita do desenvolvimento prévio de proposições teóricas para conduzir a recolha e a análise dos dados.

### **1.4. Estrutura do Trabalho**

A estrutura do trabalho apresenta-se com seis capítulos: introdução, revisão bibliográfica, apresentação da empresa, plano de controlo e controlo estatístico do processo, análise dos sistemas de medição e por fim, a conclusão.

No capítulo 1, a introdução, faz-se um enquadramento ao tema, apresentam-se os objetivos e respetiva metodologia de investigação.

No capítulo 2, apresenta-se a revisão bibliográfica, a base teórica e os conceitos aplicados no decorrer do trabalho, e faz-se uma análise crítica da revisão bibliográfica tendo por base trabalhos recentes sobre esta temática.

No capítulo 3, descreve-se uma apresentação geral da empresa e mais detalhadamente as áreas da empresa onde se insere o trabalho desenvolvido.

No capítulo 4, está descrito o trabalho desenvolvido relativo ao controlo estatístico do processo. Este inicia-se com a aprovação das peças para produção no estudo do desempenho do processo na área de injeção, e por fim, a implementação dos limites de controlo para o controlo dimensional das peças injetadas.

No capítulo 5, realiza-se uma análise ao sistema de medição para o controlo dimensional, ao paquímetro digital. Esta análise contou com a presença de três colaboradores das áreas envolvidas neste controlo, num estudo de R&R.

No último capítulo, desenvolve-se a conclusão, terminando-se o trabalho com os anexos que possuem informação de apoio ao trabalho desenvolvido.



## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo realizou-se uma revisão bibliográfica sobre os aspetos fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho realizado na empresa Delphi Automotive Systems de Braga. Esta revisão também segue certos manuais da indústria automóvel, tais como, Manual APQP, Manual CEP e o Manual MSA.

### **2.1. História da Qualidade e Conceitos**

A história da qualidade começou com a Revolução Industrial. A qualidade dos produtos já era uma preocupação, o que significava garantir que todos os produtos fabricados teriam as mesmas características. Os fabricantes passaram a incluir os processos de inspeção final no processo produtivo, como mecanismo de garantia da qualidade.

Inicialmente as Forças Armadas inspecionaram praticamente todas as unidades do produto, para simplificar e acelerar este processo sem comprometer a segurança, começando os militares a usar técnicas de amostragem para inspeção. Esta inspeção foi auxiliada por especificações militares padrão e cursos de formação em técnicas de controlo estatístico do processo (Walter Shewhart).

Posteriormente à revolução da qualidade no Japão surge o conceito de Qualidade Total nos Estados Unidos. Os norte-americanos Joseph M. Juran e W. Edwards Deming focaram-se em melhorar todos os processos organizacionais através das pessoas que nelas participaram. A Gestão da Qualidade Total (TQM) ficou conhecida nos EUA na década de 1970 nos setores industriais de modo a disputar a alta qualidade do Japão.

Na última década do século 20, o termo TQM desapareceu um pouco, particularmente nos Estados Unidos. Recentemente os sistemas de qualidade evoluíram com novas bases adotadas por Deming, Juran e os primeiros praticantes japoneses de qualidade para todos os tipos de organização, nomeadamente nos sectores de fabricação, serviços, saúde, educação e governo (ASQ, 2012).

Segundo Ishikawa (1995), o conceito de Controlo de Qualidade Total (CQT) foi criado por Feigenbaum em 1949 e definido como “um sistema eficiente para a integração do desenvolvimento de qualidade, da manutenção de qualidade e dos esforços de melhoramento da

qualidade dos diversos grupos numa organização, para permitir produtos e serviços aos níveis mais económicos, que levem em conta a satisfação do consumidor”.

Ishikawa realça que é fundamental “educar cada um em cada divisão e deixar cada pessoa executar e promover o Controlo de Qualidade (QC) ” (Lopes e Capricho, 2007).

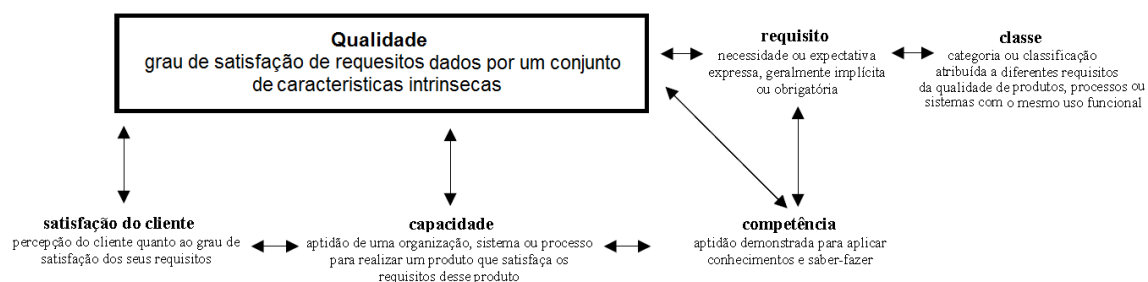
### As abordagens ao termo qualidade

O termo qualidade tem imensos significados em todo o mundo, entre eles destaca-se (Hoyle, 2005):

- Grau de excelência;
- Conformidade com os requisitos;
- Totalidade das características de uma entidade que lhe garanta a capacidade de satisfazer às necessidades explícitas ou implícitas do cliente;
- Aptidão para o uso e para a finalidade;
- Ausência de defeitos, imperfeições ou contaminação;
- Satisfação do cliente.

O **termo qualidade** segundo a norma ISO 9000:2005, significa “aptidão de um conjunto de características intrínsecas para satisfazer as exigências”.

A Figura 1 representa conceitos relacionados com a qualidade, segundo a norma ISO 9000:2005.



**Figura 1 – Relacionamentos com a Qualidade (ISO 9000:2005)**

### As normas ISO 9000

Para apoiar as Organizações de todos os sectores económicos e com o objetivo de estandardizar os diferentes modelos de gestão da qualidade existentes, surgiram as normas da família ISO 9000. Estas normas surgiram em 1987 e mais recentemente surgiram com novas versões. Estas novas versões adaptam-se a qualquer empresa industrial ou prestadora de serviços.

A família da norma ISO 9000 é constituída pela norma ISO 9000 (Fundamentos e vocabulário), ISO 9001 (Requisitos), ISO 9004 (Linhas de orientação para melhoria do desempenho e a ISO 19001 (Linhas de orientação para auditorias de sistemas de gestão da qualidade e/ou de gestão ambiental) (Duret, et al, 2009).

O sucesso das organizações pode ser consequência da implementação e manutenção de um SGQ, proveniente de uma boa conduta e de um controlo constante dos processos, atendendo às necessidades de todas as partes envolvidas.

Para um melhor desempenho das organizações, a gestão de topo deve seguir oito princípios (ISO 9000:2005):

- **Focalização no cliente** - As organizações dependem dos seus clientes satisfazendo-lhes os seus requisitos, necessidades atuais e futuras e devem lutar para exceder as suas expectativas;
- **Liderança** - Os líderes definem e formalizam uma visão prospetiva clara da organização. Devem desenvolver e manter um ambiente interno para se atingirem os objetivos da organização, definindo de maneira coerente uma finalidade e as orientações da organização;
- **Envolvimento das pessoas** - A todos os níveis, o pessoal constitui a essência de uma organização e a sua implicação permite pôr as suas competências ao serviço da organização;
- **Abordagem por processos** - Identificação clara dos processos e das atividades necessárias que permitem conduzir a um resultado e nomear um responsável para cada um deles. Deste modo, será possível medir o desempenho e analisar a maneira de melhorar o processo, a fim de responder melhor aos objetivos propostos;
- **Abordagem da gestão como um sistema** - Estruturar e documentar claramente as ações que concorrem para os objetivos da organização permitindo melhorar a eficácia e a eficiência;
- **Melhoria contínua** - Controlar os diferentes processos, continuamente, de maneira cíclica, analisar o seu desempenho global, fazer propostas de melhoria e aplicá-las;

- **Abordagens à tomada de decisões baseada em factos** - As decisões são tomadas com base numa análise efetiva de dados e de informações;
- **Relações mutuamente benéficas com fornecedores** - O relacionamento das organizações com os fornecedores devem estar interligadas de maneira a conciliar benefícios para ambas as partes, ou seja, a criar valor. Por exemplo: compreender os interesses dos parceiros, definir claramente num contrato, as suas obrigações e avaliar regularmente os seus desempenhos. Isto melhora as relações com os fornecedores, tempo de resposta e consequentemente o custo global.

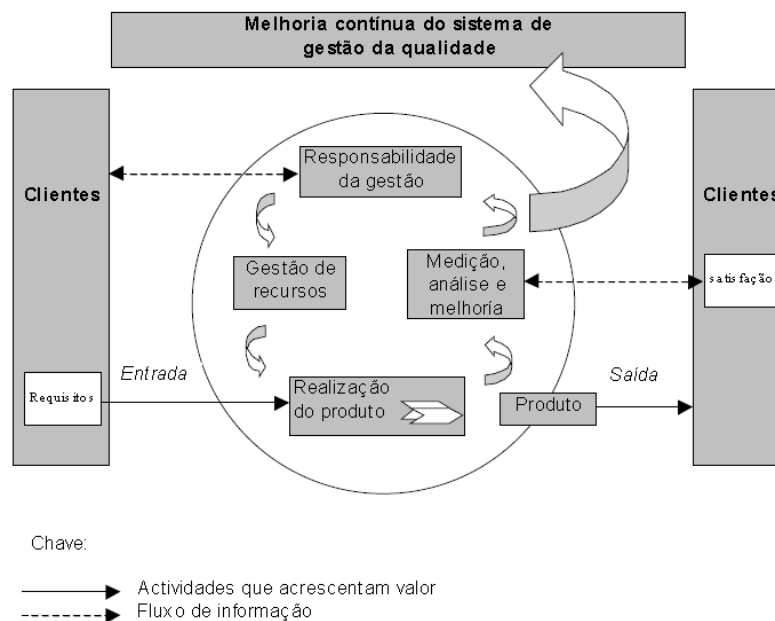
Para implementar a “Gestão da Qualidade” é necessário que os responsáveis definam objetivos e processos, tais como (ISO 9001:2008; Duret, et al, 2009):

- Planeamento da Qualidade – definir os objetivos de qualidade desejados pelo cliente, por exemplo, recursos, investimentos e característica do produto;
- Controlo da Qualidade – formar e sensibilizar os operadores para a execução dos processos, avaliar o desempenho operacional;
- Garantia de Qualidade – certificar que a qualidade do produto está dentro da especificação imposta pelo cliente. Efetuar prevenções e correções atempadamente, caso necessário;
- Melhoria Continua – implementação de técnicas e métodos para prevenir falhas no sistema, como por exemplo, dispositivos à prova de erro (prevenir o fabrico de produtos não conformes).

A Norma ISO 9001:2008 é uma especificação de requisitos para um sistema de gestão da qualidade. Pode ser utilizada para aplicação interna pelas organizações, certificação ou para fins contratuais. Esta norma da qualidade dá importância aos requisitos propostos pelo cliente. Os requisitos passam por dinamizar as organizações, gerindo e identificando os inúmeros processos interligados, caracterizados por “**abordagem por processos**”. Esta abordagem traz vantagens no controlo passo-a-passo, disposição e interação dos processos individuais dentro do sistema de processos. A importância desta abordagem no SGQ é perceber e concretizar os requisitos desejados pelo cliente, encarar os processos em termos de valor acrescentado, obtendo resultados do desempenho, da eficiência do processo e na melhoria contínua do sistema. (ISO 9001:2008).

Define-se **processo** como um conjunto de atividades logicamente interligadas ou funções que recebem recursos (materiais, informações, pessoas, máquinas, métodos) e geram produtos (serviços, bens, informações) ou transformam “entradas” em “saídas” (ISO 9000:2005).

Na Figura 2, pode ver-se um modelo desta Norma Internacional e como os clientes têm um papel significativo na definição dos requisitos como entradas.



**Figura 2 – Modelo de um SGQ baseado em processos (ISO 9001:2008)**

A **melhoria contínua** do SGQ, interpretado na Figura 2 associa-se a uma metodologia PDCA. Esta inicia-se com o “*Plan*” ou Planear, onde se define os objetivos (entradas) e métodos para os atingir, segue-se o “*Do*” ou Fazer, que pretende educar e treinar os operadores para executar as tarefas através dos recursos disponíveis, depois vem o “*Check*” ou Controlar, verificando-se os resultados das tarefas executadas, inspecionando os possíveis desvios do produto (saída) e completa o ciclo com o “*Act*” ou Agir, atuando-se corretivamente, de modo a estabilizar o processo. Para uma melhoria contínua, inicia-se o ciclo novamente com o “*Plan*”.

Para assegurar o sistema de gestão da qualidade, a organização deve cumprir com os requisitos da norma ISO 9001. As organizações evidenciam que têm capacidade e aptidão de forma sólida na produção de produtos, dentro dos requisitos especificados pelo cliente. A melhoria contínua do SGQ torna-o mais eficaz, de modo a atingir consequentemente os requisitos desejados (ISO 9001:2008).

## **2.2. Certificação de Qualidade na Indústria Automóvel**

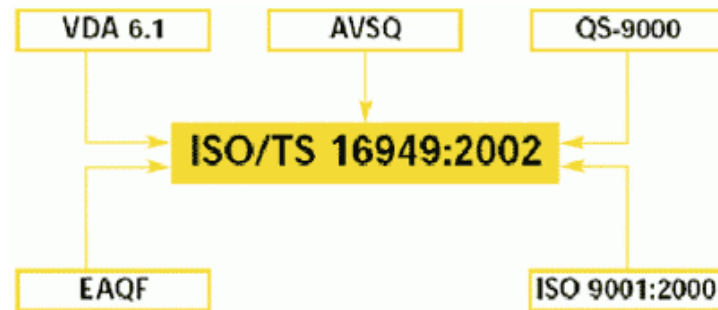
A certificação de qualidade na indústria automóvel passa por qualificar uma empresa, certificando que está preparada para produzir uniformemente com a qualidade desejada (Duret, et al, 2009). A indústria automóvel opera num mercado competitivo, que exige controlo de custos do produto, melhorando a qualidade do produto e redução do tempo de aprovisionamento (Lima, 2011).

O grupo de estudo internacional da indústria automóvel (IATF), que inclui os fabricantes da indústria automóvel, como a *BMW Group*, *Chrysler Group*, *Daimler AG*, *Fiat Group Automobile*, *Ford Motor Company* e a *General Motors Company*, uniu-se com a associação japonesa dos construtores automóvel (JAMA - *Japan Automotive Manufactures Association Inc*), grupo internacional de fabricantes de veículos e associações comerciais nacionais para desenvolver um padrão em conjunto com a ISO (*International Organization for Standardization*), chamado ISO/TS 16949 (IATF, 2012).

A norma ISO/TS 16949 é uma especificação técnica baseada na ISO 9000 que permite a implementação de métodos comuns e consistentes da qualidade para a indústria automóvel global, de modo a atingir níveis de classe mundial de qualidade do produto, produtividade, competitividade e melhoria contínua. As certificações permitem às empresas estabelecer unidades comuns de medições, facilitar a modulação entre partes e componentes do produto, aumentar a confiabilidade dos produtos e simplificar os processos (Karth, 2004).

A primeira publicação da ISO/TS 16949 foi lançada em março de 1999, elaborada conjuntamente entre a ISO, IATF e a JAMA com o apoio do Comitê Técnico ISO/TC 176, de gestão da qualidade e garantia da qualidade. Posteriormente, toda a estrutura foi atualizada com a ISO 9001:2000 e complementada com a integração dos requisitos específicos da indústria automóvel. Assim foi lançada uma segunda edição em março de 2002. Presentemente esta norma conta com uma nova revisão, a ISO/TS 16949:2009; uma terceira edição de 2009 não traz alterações nos requisitos técnicos, tendo sido elaborada pelo IATF (Barbosa, 2009; Duret, et al, 2009).

A norma ISO/TS 16949 alinha requisitos de empresas do sector automóvel dos E.U.A. (QS-9000), alemães (VDA 6.1), franceses (EAQF) e Italianos (AVSQ) para estabelecer uma norma técnica que os Sistemas de Gestão da Qualidade devem satisfazer, ver Figura 3 (Cintra, 2005).



**Figura 3 – Conjunto de normas que envolve a ISO/TS 16949**

A QS-9000 define os requisitos que um Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) tem que cumprir e é reconhecido pela Chrysler, Ford, General Motors, Truck Manufacturers e outras empresas subscritas para o fornecimento interno e externo da produção de peças e materiais. Este Sistema de Gestão da Qualidade requer algumas metas fundamentais para a melhoria contínua, enfatizando a prevenção de defeitos e a redução da variação e desperdícios provenientes do processo (Chrysler Corporation, et al, 1998).

#### 2.2.1. REQUISITOS PARA UM SGQ

A norma ISO/TS 16949 contém os requisitos da norma ISO 9001:2000, a abordagem por processos, melhoria contínua e os requisitos de documentação, como também inclui, requisitos adicionais e específicos do sector automóvel (Hoyle, 2005; Lopes, et al, 2007).

A aplicação do SGQ proporciona um aumento significativo na eficácia dos seus processos e atividades, nomeadamente a melhoria da qualidade e a facilidade na execução dos processos por parte dos funcionários devido à padronização das tarefas.

#### **Documentação**

A documentação do SGQ para a organização é uma forma de garantir o planeamento, controlo e melhoria da qualidade. Esses documentos abrangem todo o sistema de qualidade, descrevendo todos os processos e atividades necessárias, como também os comprovativos que as ocorrências passaram com a qualidade desejada.

A **documentação da qualidade** estrutura-se por quatro níveis:

- Nível I - Manual da qualidade;
- Nível II - Procedimentos operacionais;
- Nível III - Instruções de trabalho, modos operatórios, métodos de medição;
- Nível IV - Registos, indicadores, documento de referências.

A documentação da qualidade de nível I define a política da qualidade e os seus objetivos. O manual da qualidade é um documento que fornece uma visão geral do Sistema da Qualidade de uma organização, incluindo o procedimento e interação entre processos. Basicamente define “o que” a organização faz para atender aos requisitos desejados.

O nível II descreve “como” o processo é executado, definindo as responsabilidades, ações e interfaces com o Sistema da Qualidade.

Os documentos do nível III representam detalhadamente como as atividades são executadas, isto é, como formalizar as competências, por exemplo, as instruções de trabalho. Podem servir tanto para facilitar a compreensão de um procedimento operacional (nível II), como para controlar um processo.

O nível IV representa os registos que permitem verificar que os níveis de qualidade foram alcançados e que os vários elementos do Sistema da Qualidade foram implementados, como por exemplo as folhas de registo do controlo estatístico do processo (ISO 9001:2008; Duret, et al, 2009).

Os documentos referidos anteriormente devem ser controlados sistematicamente, de modo a garantir a definição dos controlos envolvidos no sistema, requerendo a sua revisão e atualização.

Os registos documentais devem ser legíveis e identificados, facilitando o utilizador e permitindo com segurança a sua recuperação.

As organizações devem identificar e padronizar todos os processos necessários para o SGQ, em toda a organização, processos esses que afetam o produto e consequentemente o cliente.

Os processos devem estar formalizados, com ordem e com as suas respetivas interações. O controlo sistemático dos processos requer critérios e métodos para garantir sua eficácia.



A disponibilização de recursos e controlo dos registos adequados são necessários para garantir a rastreabilidade do processo e proporcionar dados para a revisão do sistema. Assim as organizações devem medir e monitorizar os processos de fabricação e da qualidade do produto/serviço, através de indicadores de desempenho.

Caso necessário para atingir os resultados previstos, recorre-se a ações corretivas, como a implementação de meios apropriados e a melhoria contínua dessas ações (ISO 9001:2008).

### **Responsabilidade da Gestão**

A gestão de topo, dirige e controla uma organização, devendo assegurar o SGQ, identificando os processos necessários para o SGQ e sua aplicação por toda a organização e devendo determinar a sequência e interação desses processos, como critérios e métodos necessários para assegurar que as operações e o controlo desses processos sejam eficazes. A mesma responsabilidade recai na disponibilização de recursos e informações necessárias para apoiar a operação e o monitoramento dos processos (Bobrek, et al, 2005).

A gestão de topo suporta dentro de um conjunto de intenções e de orientações na organização, a garantia da qualidade. Para este efeito define o pessoal com responsabilidade e autoridade para apoiar esse objetivo/requisitos impostos pelo cliente, recorrendo à formação das pessoas envolvidas na qualidade do produto, conceção e desenvolvimento do produto e nas ações corretivas e preventivas no sistema (ISO 9001:2008).

### **Gestão de Recursos**

O pessoal que afeta a qualidade do produto deve ter experiência apropriada e competência com base em habilitações literárias, formação especializada e saber como fazer e avaliar as suas tarefas designadas às operações (ISO 9001:2008).

A organização deve identificar as ferramentas apropriadas e as técnicas aplicáveis para atingir os objetivos desejados para a conceção do produto. Os procedimentos para a execução das tarefas devem ser documentados de forma a partilhar competências entre as partes interessadas, como por exemplo, instruções de trabalho (ISO 9001:2008).

## **Instalação e Equipamentos**

A organização deve otimizar o espaço disponível, de modo a fazer circular fluidamente os materiais. A eficácia do SGQ passa pela implementação e monitorização de métodos para avaliar os processos. Estes métodos estão relacionados com o plano de contingência, plano esse que orienta as ações perante uma emergência, como por exemplo, paragem de linha. Todas as áreas da organização devem ser mantidas limpas e conservadas (ISO 9001:2008).

## **Conceção e Desenvolvimento do Produto**

A organização deve determinar os objetivos e requisitos para o produto, o que implica o planeamento da realização do produto. Este planeamento pode ter em consideração o SGQ já implantado na organização. O planeamento para a conceção do produto requer:

- Definição dos processos, documentos e recursos específicos para a realização do produto;
- Objetivos e requisitos do cliente;
- Verificação, validação, monitorização do produto;
- Inspeção e ensaios específicos;
- Critérios de aceitação, definidos pela organização e aprovados pelo cliente;
- Registos das ocorrências (análise do produto está em conformidade).

O Planeamento da conceção e do desenvolvimento é elaborado por uma equipa multidisciplinar. O plano de controlo requer a definição de todas as etapas dos processos de fabrico e para cada etapa deve mencionar as suas revisões, verificações e validações. Este planeamento inclui a atualização dos planos de controlo sempre que sofre alterações.

A conformidade do produto deve ser revisto desde a entrada até a saída da organização (ISO 9001:2008).

O planeamento para a saída da conceção do produto requer:

- *Layout* da organização;
- FMEA;
- Plano de controlo;
- Instruções de trabalho;
- Critério de aceitação para aprovação do produto (requisitos do cliente/ organização);
- Análise, medição e monitorização dos dados para a qualidade;
- Métodos rápidos e eficazes de captação da não conformidade de produto, por exemplo, dispositivos à prova de erro.

### **Medição e Análise da Qualidade**

A medição dos processos envolventes ao SGQ requer métodos apropriados para atingir os resultados esperados no processo, como por exemplo o Controlo Estatístico do Processo (CEP). Se os resultados não forem os esperados (não conformidade do produto) pode-se recorrer às respetivas correções e ações corretivas.

A organização deve analisar a capacidade do processo e a medição do produto para posteriormente serem documentados. Os documentos devem ter as especificações implícitas, como por exemplo, capacidade, critérios de aceitação, técnicas de medição, entre outros requisitos.

A capacidade do processo de fabricação deve-se manter dentro dos requisitos aprovados pelo cliente (ISO 9001:2008).

### **2.3. O Processo de Desenvolvimento de Produtos na Indústria Automóvel**

Este apresenta algumas metodologias e ferramentas da qualidade que contribuem para o processo de desenvolvimento de produtos na indústria de automóvel. Para o desenvolvimento, compreensão e domínio do planeamento da qualidade do produto, algumas indústrias de automóveis empregam o Planeamento Avançado da Qualidade do Produto (APQP). Este conceito pretende padronizar a gestão da qualidade na indústria (Bobrek, et al, 2005).

O Planeamento da Qualidade do produto é um método estruturado para definir e estabelecer as medidas necessárias para assegurar que um produto satisfaça o cliente. O objetivo do

planeamento da qualidade do produto é facilitar a comunicação com todas as pessoas envolvidas para garantir que todas as medidas necessárias sejam concluídas a tempo (Chrysler Corporation, et al, 1995).

Para a conceção da qualidade do produto, o Planeamento Avançado da Qualidade do Produto (APQP) é uma das exigências das normas QS-9000 e ISO TS 16949 que depende da utilização de algumas ferramentas da Qualidade e um plano de controlo para apoiar um plano de qualidade no processo de produção (Bobrek, et al, 2005).

### 2.3.1. PLANEAMENTO AVANÇADO DA QUALIDADE DO PRODUTO

O APQP é um processo definido por um sistema de desenvolvimento de produtos para a *General Motors, Ford, Chrysler* e seus fornecedores. A APQP tem relação direta com a garantia e o controlo da qualidade do desenvolvimento de produtos, pois orienta os passos necessários no planeamento de um novo produto. Tem como objetivo produzir um plano de qualidade que irá apoiar o desenvolvimento de um produto ou serviço, de forma a satisfazer o cliente. Esse plano facilita a comunicação com todos os elementos envolvidos de modo a reagir atempadamente perante as irregularidades do processo ou produto. O APQP inclui métodos e controlos para serem utilizados na conceção do produto (Bobrek, et al, 2005).

O APQP é composto pelas seguintes cinco etapas:

- 1ª ETAPA - Planear e definir os objetivos

Esta primeira etapa baseia-se na “Voz do Cliente”, isto porque envolve as necessidades e expectativas do cliente, a fim de planear e definir um programa de qualidade. A organização define uma lista de materiais e um fluxograma dos processos preliminar, características especiais do produto e o plano de garantia do produto.

- 2ª ETAPA - Planeamento e desenvolvimento do produto

A organização deve considerar todos os fatores do projeto no planeamento do processo de forma quase final. As especificações de engenharia são definidas no que diz respeito ao controlo de registo, implicando o tamanho da amostra, frequência e critérios de aceitação dos parâmetros. Esta etapa inclui a construção do protótipo para verificar se o produto vai ao encontro dos requisitos do cliente. O plano de controlo do protótipo é particularmente baseado em desenhos

de engenharia e requisitos de especificação, como também em ferramentas de análise precisas ao produto e ao controlo do processo. Nesta fase do processo deve-se analisar a viabilidade preliminar, de modo a avaliar os potenciais problemas que poderiam ocorrer durante a fabricação.

- 3ª ETAPA - Planeamento e desenvolvimento do processo

O planeamento e desenvolvimento do processo é uma etapa onde se discute as principais características do desenvolvimento de um sistema de produção e do seu controlo, relacionado com os devidos planos para garantir a qualidade desejada. Esta etapa depende da conclusão com sucesso das duas etapas anteriores; deste modo, desenvolve todo o sistema de produção ativo.

Esta etapa submete a uma revisão do manual da qualidade e do plano de controlo de fabricação, de modo a melhorar o sistema de qualidade. O fluxograma do processo é requerido nesta etapa de forma a esquematizar o fluxo de processos dando importância às fontes de variação sobre o processo. O fluxograma auxilia a equipa da Qualidade na elaboração do PFMEA (*Process Failure Mode and Effect Analysis*) e na representação do Plano de Controlo.

O PFMEA deve ser realizado durante o planeamento da qualidade do produto e antes de começar a produção. É uma análise multi-disciplinada com o objetivo de antecipar, resolver e registar os potenciais problemas na conceção de um novo produto.

No planeamento e desenvolvimento do processo requer-se um plano de controlo de pré-lançamento, onde são escritas as medições dimensionais ao produto e os testes funcionais que ocorrem após o protótipo, como por exemplo, mais frequência de inspeção, avaliação estatística e aumento de auditorias ao produto.

Os responsáveis da qualidade devem criar instruções de trabalho, de forma a auxiliar os operadores diretos no controlo da qualidade do produto.

Nesta etapa deve-se desenvolver um plano para a **análise dos sistemas de medição (MSA)**. Este plano requer a garantia da conformidade dos equipamentos de medida, baseando-se na precisão, repetibilidade e reprodutibilidade.

- 4ª ETAPA - Validação do produto e do processo

A validação do produto e do processo submete-se após todos os ensaios na produção. Neste mesmo período, os responsáveis da qualidade devem validar o plano de controlo e o fluxograma do processo para garantir, desta forma, as necessidades do cliente.

A produção pretende executar as tarefas com as condições finais planeadas no projeto. Assim, com a utilização de dispositivos de medição e métodos usados no plano de controlo verificam-se as características críticas com as especificações técnicas do produto.

Nesta etapa, analisam-se os sistemas de medição e estuda-se a capacidade do processo em relação às características críticas identificadas no plano de controlo.

O **plano de controlo de produção** é um documento baseado na descrição dos sistemas de controlo do produto e processos que deve ser atualizado quando sofre alterações.

O responsável da qualidade deve realizar uma análise no local de fabricação e coordena uma aprovação formal, antes de iniciar a primeira produção. A aprovação das peças de produção (PPAP) requer a validação dos produtos feitos a partir das ferramentas de produção e processos que atendem aos requisitos de engenharia. Deve realizar uma análise ao Plano de Controlo da produção, instruções de trabalho, calibres e equipamentos de teste. Os calibres e equipamentos de medição devem ser verificados, quanto à repetibilidade e à reprodutibilidade (R&R), de modo a serem usados corretamente.

- 5ª ETAPA - Avaliação, feedback e ação corretiva

Nesta ultima fase, após a validação do processo avaliam-se as causas especiais e comuns presentes no processo de fabrico e a eficácia do sistema planeado para a qualidade do produto.

O plano de controlo de produção é a base para a avaliação do produto, que recai nas características associadas à qualidade, sendo estas dimensionais ou funcionais, para atender os requisitos do cliente.

As **cartas de controlo** e outras técnicas estatísticas devem ser utilizadas como ferramentas para analisar e identificar a variação do processo. Estas ferramentas ajudam o utilizador a agir atempadamente perante a variação do processo. Exige atenção não só para as causas especiais de variação, mas também para compreender as causas comuns que se encontram no processo e assim, procurar-se uma maneira de reduzir essas fontes de variação. A eliminação destas causas pode proporcionar uma redução de custos (Chrysler Corporation, et al, 1995).

As principais ferramentas abordadas de seguida são de apoio à implementação do APQP, destacando-se entre elas, o desenvolvimento do Plano de Controlo da produção, Controlo Estatístico do Processo (CEP) e Análise dos Sistemas de Medição (MSA).

### 2.3.2. PLANO DE CONTROLO

O plano de controlo da qualidade representa a eficácia do sistema da qualidade, relativamente à satisfação das especificações do produto e com todos os pontos aplicáveis da norma (Duret, et al, 2009). O plano de controlo contém os controlos do processo de fabrico, incluindo métodos para a monitorização sobre características do produto durante a produção. Estas características são as especificações do cliente ou mesmo da própria organização. O plano de controlo é uma descrição documentada dos sistemas e processos necessários ao controlo do produto.

Este documento requer atualização sempre que houver alguma alteração no produto, no processo de fabricação, na medição, logística, fontes de fornecimento ou FMEA.

A organização deve desenvolver um plano de controlo em três fases distintas do projeto:

- **Protótipo:** análise ao sistema de produção, representação de uma descrição das medições do produto, testes de materiais e desempenho (funcionais) que ocorrem durante a construção do protótipo. A organização deve utilizar as mesmas ferramentas e processos de fabricação que irão ser utilizados na produção. As medidas de desempenho do processo e as medições ao produto devem ser controladas de modo a satisfazer os requisitos do cliente.
- **Pré-lançamento:** esta fase ocorre após o protótipo e antes da produção normal. Fase da produção no processo de realização do produto que requer nova descrição das

medições, testes de materiais e desempenho que ocorrem durante esse processo (ISO 9001:2008).

- **Produção:** é um documento que apresenta uma extensão lógica do plano de controle de pré-lançamento, determinando se todas as questões estão sendo abordadas para as diversas funções do processo de planeamento da qualidade, bem como uma boa descrição de várias técnicas analíticas utilizadas em todas as fases. Este plano requer a descrição dos ensaios e sistemas de medição, material e testes funcionais que serão usados para controlar peças e processos para produção (Thisse, 1998).

O plano de controle da produção deve conter todas as características especiais definidas pelo cliente e pela organização, inclusive a lista dos controles utilizados no processo de fabricação e consequentemente o plano de reação especificado para quando o processo se torna instável ou estatisticamente incapaz (Duret, et al, 2009). A Tabela 1 apresenta um exemplo de um plano de controle (ISO 9001:2008).

**Tabela 1 – Requisitos mínimos de um plano de controle**

<b>Dados gerais</b>	<b>Controle do produto</b>	<b>Controle do processo</b>	<b>Método de controle</b>	<b>Plano de reação e ações corretivas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Número do plano de controle;</li> <li>· Data de emissão e as datas de revisão, se houver;</li> <li>· Informação do cliente (requisitos do cliente);</li> <li>· Nome da organização/designação da unidade fabril;</li> <li>· Código (s) da peça/produto;</li> <li>· Nome/descrição da peça;</li> <li>· Nível de alteração de engenharia;</li> <li>· Número da etapa da peça/processo;</li> <li>Nome do processo/descrição da operação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Características especiais relativas ao produto;</li> <li>· Outras características de controle, tais como: número, produto ou processo;</li> <li>· Especificação ou tolerância</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Parâmetros do processo;</li> <li>· Características especiais relativas ao processo;</li> <li>· Máquinas, dispositivos, ferramentas de fabricação e medição.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Técnica de medição e da avaliação;</li> <li>· Prevenção de erros;</li> <li>· Tamanho da amostra e frequência da amostragem;</li> <li>· Método de controle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Plano de reação</li> <li>· Ação corretiva.</li> </ul>



As atividades mais importantes da Tabela 1 e implícitas no plano de controle são as seguintes:

### **Controle do produto**

As características especiais são designadas pelos requisitos do cliente. Estas características devem ser todas consideradas no plano de controle, documentadas e monitorizadas. Estes requisitos podem incluir características do produto e parâmetros do processo (ISO 9001:2008).

### **Controle do processo**

Os parâmetros do processo ou características do produto de fabricação influenciam a segurança e a conformidade do produto. A *check-list* (folha de verificação) é uma ferramenta simples e eficaz, usada para controlar parâmetros. Esta ferramenta é baseada numa lista de tarefas a executar ou dos pontos a controlar antes de realizar uma operação. Todas as tarefas listadas passam a ser sistematicamente verificadas.

Os sistemas à prova de erro previnem o fabrico de produtos não conformes no desenvolvimento de produtos e nos processos de fabricação.

O controle do processo inclui a execução de inspeções dimensionais e verificações funcionais de acordo com as especificações, utilizando ferramentas de medição, como por exemplo, o paquímetro digital (Duret, et al, 2009).

### **Método de controle**

A organização deve executar estudos em todos os processos, de modo a verificar a capacidade do processo. Os resultados dos estudos de processo devem ser documentados.

Dentro dos métodos de controle, pode-se destacar o controle estatístico e a capacidade do processo para verificar a sua estabilidade (ISO 9001:2008).

O método de controle, baseado na medição é efetuado com uma determinada frequência, de modo a garantir a sua fiabilidade. Para garantir a qualidade do produto, este deve ser previamente validado, através de medições (Duret, et al, 2009).

## **Plano de reação e ações corretivas**

O plano de reação inicia-se quando o processo se tornar instável, estatisticamente não capaz, ou quando os critérios de aceitação não são atingidos. Nesta situação, a inspeção ao produto é a 100%.

As ações corretivas designam responsabilidade para assegurar que o processo se torna estável e capaz, desenvolvendo ações apropriadas aos efeitos das não conformidades encontradas, de modo a eliminar as suas causas, evitando-as no futuro (ISO 9001:2008).

## **2.4. Controlo Estatístico do Processo**

O Controlo Estatístico do Processo (CEP) é um método importante nas indústrias de manufatura. O seu objetivo é monitorizar o desempenho de um processo ao longo do tempo, a fim de verificar se o processo está sob controlo estatístico. Esta análise de controlo estatístico para determinado processo revê a variação que afeta o processo e se é significativa a sua variação, de modo a evitar desperdício de materiais (Smith, et al, 2007).

O CEP quando aplicado aos dados recolhidos na produção pode destacar as áreas que necessitam de mais análise ou melhoria. Esta técnica permite ao responsável identificar e compreender a variação dentro do processo (Thompson, et al, 2002).

### **2.4.1. SISTEMA DE CONTROLO DA QUALIDADE**

Um sistema de controlo da qualidade é baseado num conjunto de ações pré-estabelecidas que provoca um “feedback” ao sistema.

O sistema de controlo de qualidade está enquadrado no processo, de modo a retirar as informações sobre o desempenho dele mesmo. O objetivo é compreender o processo e a sua variabilidade, seja qual for a grandeza envolvida (variáveis quantitativas).

Quando se analisa um processo deve-se ter em conta qual é o valor alvo para aquela característica que se pretende analisar.

A informação sobre o processo em relação ao valor alvo é obtida através de uma interpretação correta sobre o sistema, analisando a distância que varia entre o valor real e o valor alvo desejado.

As ações sobre o processo traduzem uma gestão mais económica prevenindo mais eficazmente a variação no processo produtivo.

As ações sobre os resultados da produção são mais dispendiosas quanto à deteção e menos eficientes do que as ações sobre o processo, isto porque não identifica as suas possíveis causas.

Na ocorrência de produtos que não atingem a qualidade exigida pelo cliente é necessário inspecionar os produtos a 100%, classificar a sua conformidade e colocar no refugo ou retrabalhar os produtos não conformes (Chrysler Corporation, et al, 2005).

#### 2.4.2. VARIABILIDADE DO PROCESSO

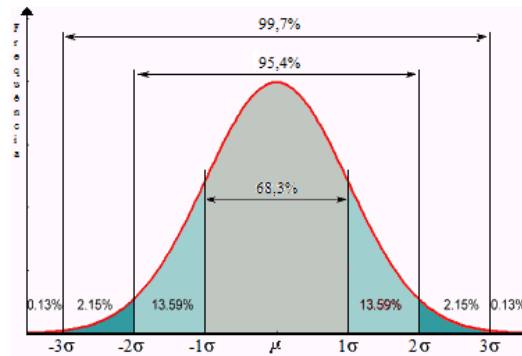
O sistema de produção é incapaz de produzir sempre com precisão o mesmo produto. A característica inspecionada terá sempre uma dispersão no valor medido.

A variação do processo provém de diferentes fatores, causando a dispersão de resultados e a não conformidade do produto. Podemos designar as 6 causas fundamentais do sistema de produção, como os 6M. Os 6M correspondem ao Meio ambiente, Mão-de-obra, Matéria-prima, Métodos, Máquina e Medida. Estas variações podem ser classificadas por dois tipos:

- **Causas naturais ou aleatórias:** são provenientes de inúmeros fatores, que apresentam sistematicamente pequenas influências em todos os processos inspecionados. O surgimento persistente destas causas forma uma variabilidade interna no processo. Estas variações do processo normalmente seguem uma distribuição normal (Lei de Gauss).
- **Causas especiais ou assinaláveis:** são mais difíceis de prever e identificar, por vezes são irregulares e instáveis. As causas especiais geralmente não são numerosas, mas afetam significativamente o desempenho do processo. Esta instabilidade do processo provocado por este tipo de causa deve-se a diversas origens, como por exemplo, o desgaste ou mesmo a falta de calibração dos instrumentos de medição, falha na afinação da máquina, diferença entre máquinas de produção, afinadores, operadores de inspeção e matéria-prima. (Duret, et al, 2009; Oliveira, 2004).

Na Figura 4, as variáveis contínuas correspondentes à inspeção do produto, normalmente seguem uma distribuição normal com média ( $\mu$ ). A dispersão dos valores pode ser medida

através do desvio padrão da população ( $\sigma$ ) que define a amplitude da curva em forma de sino (Oakland, 2008).



**Figura 4 – Curva da distribuição normal (adaptado de Oakland, 2008)**

A média,  $\bar{X}$  ( $\mu$ ) e o desvio padrão,  $s$  ( $\sigma$ ) são calculados com as seguintes equações:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_k}{k} = \sum_{i=1}^k \frac{x_i}{k} \quad (\text{Equação 1})$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (\text{Equação 2})$$

onde,

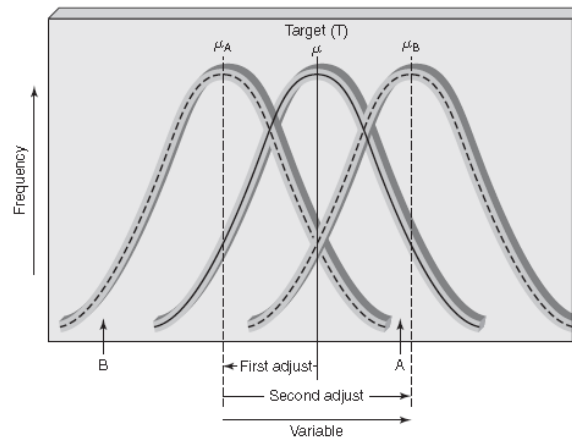
$\sum_{i=1}^k x_i$  = soma de todos os valores da amostra.

$k$  = número de amostra de tamanho  $n$ .

$n$  = tamanho da amostra.

A Figura 4 representa a proporção da produção esperada dentro dos valores de  $\mu \pm 1\sigma$ ,  $\mu \pm 2\sigma$  e  $\mu \pm 3\sigma$ . Supondo que um painel de autorrádio tem 320 mm de largura e 10 mm de desvio padrão, a partir do conhecimento da distribuição normal, 68,3% dos autorrádios situavam-se dentro de  $\pm 10$  mm ( $\mu \pm 1\sigma$ ), 95,4% dos autorrádios situavam-se dentro de 20 mm ( $\mu \pm 2\sigma$ ) e assim sucessivamente.

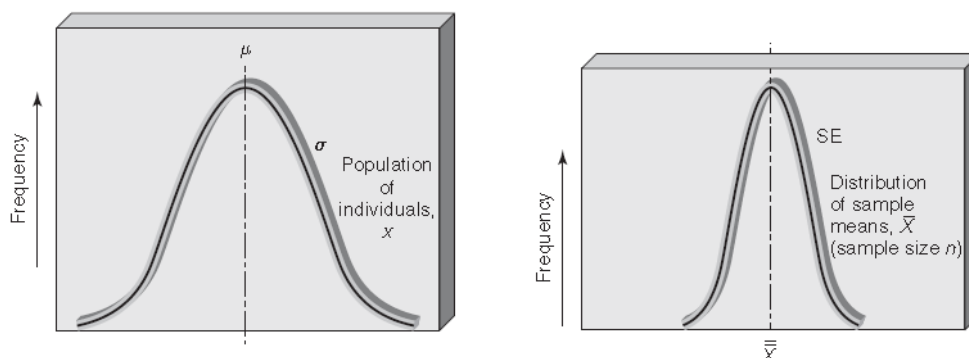
No controlo do processo é fundamental compreender a variação, interpretando o “como” e o “porquê”. Quando se implementa o controlo estatístico do processo (CEP) pela primeira vez repara-se muitas vezes que o processo está fora de controlo estatístico devido a um número excessivo de ajustamentos feitos ao processo provocando um aumento global na variabilidade dos resultados (ver Figura 5).



**Figura 5 – Variabilidade do processo, devido a ajustes frequentes (Oakland, 2008)**

Esta variabilidade fragiliza a capacidade do processo para atender os requisitos especificados pelo cliente. É comum neste tipo de situação definir tolerâncias mais apertadas, de modo a controlar o processo com mais atenção. Para compreender e melhorar a situação é necessário analisar o comportamento da amostragem e das médias (Oakland, 2008).

A comparação dos dois diagramas de frequência da Figura 6 mostra que a dispersão das médias da amostra é muito menor do que a dispersão dos comprimentos individuais.



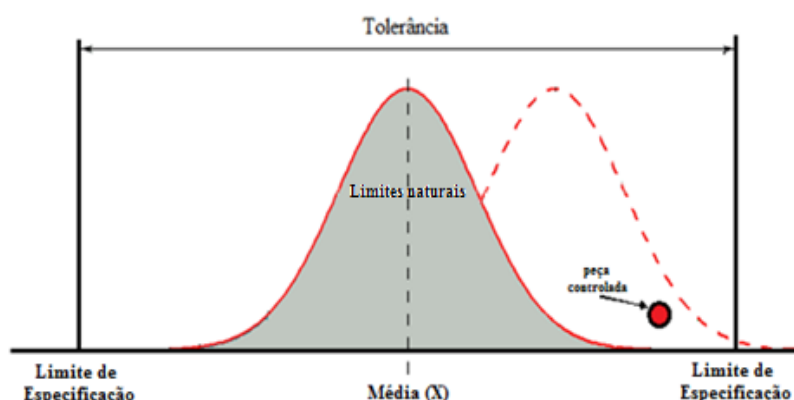
**Figura 6 – Amostras individuais e amostras de tamanho n. (Oakland, 2008)**

Na distribuição dos comprimentos médios a partir de dimensão da amostra  $n$ , o desvio-padrão das médias, o chamado erro padrão das médias, é representado pelo símbolo  $\sigma_{\bar{x}}$  (Oakland J., 2008). O erro padrão das médias é definido por:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n} \quad (\text{Equação 3})$$

### 2.4.3. COMPORTAMENTO DO PROCESSO

As tolerâncias de especificação representam os limites de funcionamento do produto, no qual define o máximo de variação admissível. Estes limites podem influenciar certos tipos de erros. Na Figura 7, um operador ao medir as peças de produção que está dentro do intervalo dos limites de especificação, ele vai considerar essa peça com se estivesse em conformidade com a utilização desses limites. Esta peça encontra-se fora dos limites naturais porque o seu valor não estará centrado no valor nominal (Oliveira, 2004).

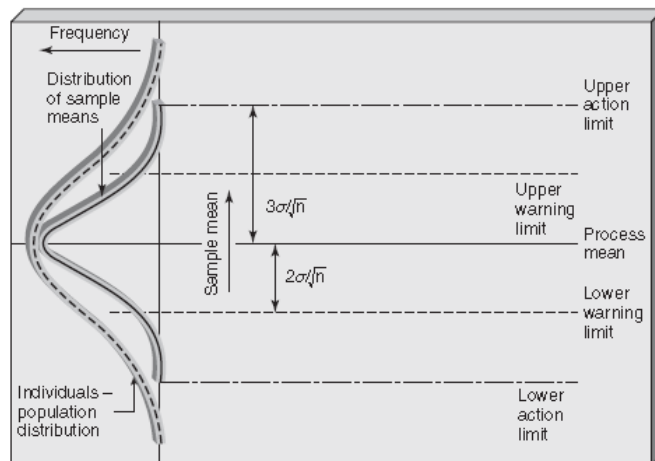


**Figura 7 – Controle pelos limites de especificação (adaptado de Duret, et al, 2009)**

Os limites naturais focam-se na centralização do processo em relação ao valor nominal, prevenindo-se no caso da afinação do processo, garantindo uma melhor qualidade futura.

Os pontos fora dos limites naturais indicam uma distribuição não estável, isto implica uma rejeição da hipótese nula, assumindo-se que há causas assinaláveis em ação no processo (Oakland, 2008).

Assim sendo, para controlar um processo é necessário verificar o comportamento da tendência natural, analisando os dados da inspeção quanto à distribuição normal. Se o processo estiver estável, com o conhecimento da distribuição normal, mais de 99,7% das amostras irão situar-se entre as linhas marcadas como limite superior e o limite inferior, indicada na Figura 8.



**Figura 8 – Princípios da carta de controle (Oakland, 2008)**

As indústrias têm como objetivo produzir a baixo custo e com qualidade, para atingir esses objetivos é necessário estudar a combinação das características elementares. É importante a centragem das características no valor nominal como fundamentalmente a tendência da média e o desvio padrão das distribuições.

A partir de duas ferramentas fundamentais, como as cartas de controle e o estudo da capacidade, podemos ter um controle estatístico dos processos, seguindo os objetivos esperados (Duret, et al, 2009).

#### 2.4.4. CARTAS DE CONTROLO E SUA APLICAÇÃO

Os gráficos ou cartas de controle são uma ferramenta da qualidade que estuda a variabilidade do processo e as condições específicas de um determinado produto. A redução da variabilidade à volta do valor nominal do produto promove uma melhor qualidade (Oliveira, 2004).

Os gráficos de controle têm uma base estatística que pode ser usada para identificar as fontes de variação através de dois gráficos, estes gráficos estão delimitados com dois limites, conhecidos por limites de controle.

Em 1920, Shewhart criou as cartas de controle em dois tipos:

- Gráficos por variáveis – onde os dados são recolhidos por um processo de medição;
- Gráficos por atributos – onde os dados proveem de um processo de contagem (conforme / não conforme).

Todos os sistemas e processos da produção sofrem variações naturais e aleatórias. É muito comum e inevitável, daí fazer sentido e ter utilidade os gráficos de controlo. Mas é importante que não se atue erradamente sobre uma variação natural no processo, quando na realidade pode ser considerado uma variação anormal e vice-versa (Oliveira, 2004; Duret, et al, 2009).

Na interpretação dos gráficos de controlo há dois tipos de erros. O erro do tipo I ou risco  $\alpha$ , quando se apontam causas assinaláveis inexistentes no processo e o erro do tipo II ou risco  $\beta$ , quando não se deteta uma causa assinalável existente.

A definição de limites de controlo a  $\mu \pm 3\sigma$  é uma regra aceitável na prática industrial, já há muitos anos. No caso de optar por limites de controlo mais apertados, pode ser mais caro, pois estes limites apresentam com mais frequência falsos avisos. No caso dos limites de controlo de  $\mu \pm 4\sigma$ , a capacidade de deteção de variação na média é menor, estes limites fazem sentido quando o custo associado ao produto não é muito relevante perante pequenas variações na média do processo.

Um processo só está sob controlo estatístico quando não estão presentes causas assinaláveis (Oliveira, 2004).

As **cartas ou gráficos de controlo por variáveis** são um tipo de cartas de controlo usadas na inspeção dimensional. Para a sua elaboração é necessário a interpretação de dois tipos de gráficos. Para controlar a variação do processo, quanto ao nível médio utilizam-se os gráficos das médias das amostras (gráfico  $\bar{X}$ ) e para o controlo da dispersão, utilizam-se os gráficos das amplitudes ou dos desvios padrões das amostras (gráfico R ou s).

Os gráficos R e os gráficos s são semelhantes, mas para amostras pequenas, até 10 unidades, o gráfico R é mais simples de interpretar e explicar às partes interessadas. No caso de amostras superior a 10 unidades, o gráfico s é mais fiável que o gráfico R (Oliveira, 2004).



Admitindo um contexto industrial, com ou sem o conhecimento da média ( $\mu$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ) do processo, pode-se calcular os limites para Gráfico  $\bar{X}$  (médias) segundo a Tabela 2 e, para o Gráfico  $s$  (desvio padrão) segundo a Tabela 3.

**Tabela 2 – Formulas para o gráfico das médias (Manual SPC, 2005)**

	Parâmetros Desconhecidos	Parâmetros Conhecidos
Limite Superior de Controle	$L. S. C_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \cdot \bar{s}$	$L. S. C_{\bar{x}} = \mu + A_1 \sigma_x$
Limite Central	$L. C_{\bar{x}} = \sum_{i=1}^k \bar{x}_i / k = \bar{\bar{X}}$	$L. C_{\bar{x}} = \sum_{i=1}^k x_i / k = \mu$
Limite Inferior de Controle	$L. I. C_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - A_3 \cdot \bar{s}$	$L. I. C_{\bar{x}} = \mu - A_1 \sigma_x$

**Tabela 3 – Formulas para o gráfico  $s$  (Manual SPC, 2005)**

	Parâmetros Desconhecidos	Parâmetros Conhecidos
Limite Superior de Controle	$L. S. C_{\sigma} = B_4 \cdot \bar{s}$	$L. S. C_{\sigma} = B_6 \cdot \sigma_x$
Limite Central	$L. C_{\sigma} = \sum_{i=1}^k s_i / k = \bar{s}$	$L. C_{\sigma} = c_4 \cdot \sigma_x$
Limite Inferior de Controle	$L. I. C_{\sigma} = B_3 \cdot \bar{s}$	$L. I. C_{\sigma} = B_5 \cdot \sigma_x$

As constantes para o cálculo dos limites de controle da Tabela 2 e 3 encontram-se no Anexo A.

Os gráficos  $\bar{X}, s$  têm como objetivo, analisar a variação quanto à media e desvio padrão entre as amostras retiradas do processo, de modo a agir preventivamente.

Quando o tamanho da amostra é igual 1 ( $n=1$ ) num processo, não é possível analisar o processo através do gráfico  $\bar{X}, s$  ou  $\bar{X}, R$  acima demonstrado. Desta forma, utilizam-se os gráficos dos **valores individuais e amplitudes móveis** ( $X, AM$ ), usando como estimativa para a variação do processo a amplitude móvel de duas ou mais observações sucessivas.

Para o cálculo destes limites de controlo é necessário determinar a amplitude móvel (AM) (diferença entre o valor atual e o valor anterior de leituras consecutivas):

$$AM_i = |x_i - x_{i-1}|, \quad i = 2 \dots k \quad (\text{Equação 4})$$

A partir dos valores da AM calcula-se a média das amplitudes móveis ( $\overline{AM}$ ), para um conjunto de k amostras.

$$\overline{AM} = \frac{AM_2 + AM_3 + \dots + AM_k}{k-1} \quad (\text{Equação 5})$$

Seguidamente apresentam-se os limites de controlo e linha central para os gráficos de controlo (X, AM).

➤ **Limites de controlo X**

$$L. S. C._X = \bar{X} + E_2 \cdot \bar{R} \quad (\text{Equação 6})$$

$$L. C._X = \bar{X} \quad (\text{Equação 7})$$

$$L. I. C._X = \bar{X} - E_2 \cdot \bar{R} \quad (\text{Equação 8})$$

➤ **Limites de controlo AM**

$$L. S. C._{AM} = D_4 \cdot \bar{R} \quad (\text{Equação 9})$$

$$L. C._{AM} = \overline{AM} \quad (\text{Equação 10})$$

$$L. I. C._{AM} = D_3 \cdot \bar{R} \quad (\text{Equação 11})$$

Após a verificação do processo através dos limites de controlo e concluir-se que se apresentam sob controlo estatístico, pode-se analisar o desempenho ou a capacidade do processo em estudo (Chrysler Corporation, et al, 2005).

#### 2.4.5. CAPACIDADE DO PROCESSO

O objetivo do cálculo da capacidade é determinar se o processo tem aptidão para produzir peças dentro das tolerâncias de especificação.

Se um processo sofrer alterações de centralização e/ou um aumento na dispersão do processo pode proporcionar uma produção fora dos limites de especificação.

A capacidade do processo representa uma relação entre a largura dos limites de especificação e a variação atual do processo. O valor do índice de capacidade do processo é expresso por um número, sendo mais objetivo que o texto e facilita a interpretação (Duret, et al, 2009).

A avaliação da capacidade realiza-se através do índice de variação do processo com base nas especificações técnicas ( $C_p$  e  $P_p$ ) e no índice de variação e centralização do processo com base nas especificações técnicas ( $C_{pk}$  e  $P_{pk}$ ).

De seguida apresenta-se os cálculos dos índices de capacidade para um processo estável com tolerâncias bilaterais.

### **Avaliação do desempenho do processo ( $P_p$ e $P_{pk}$ )**

Esta avaliação estuda a variabilidade preliminar do processo comparando o desempenho do processo com a variação máxima permitida pela tolerância, isto traduz por:

$$P_p = \frac{\text{Intervalo da tolerância}}{\text{Dispersão longo prazo}} = \frac{LSE - LIE}{6s} \quad (\text{Equação 12})$$

O desempenho do processo ( $P_p$ ) tem capacidade quando o valor deste cálculo for igual ou superior a 1,33, isto significa que o intervalo da tolerância de especificação é maior que um ligeiro aumento da dispersão aleatório do processo ( $8\sigma/6\sigma$ ).

O índice de desempenho do processo ( $P_{pk}$ ) apresenta o mesmo objetivo, mas como o  $P_p$  não deteta o se o processo está ou não centrado, é necessário atribuir outro indicador que tenha em conta a média do processo. Assim, o  $P_{pk}$  tem aptidão para analisar quando a distância da tolerância superior (ou inferior) à média é maior a metade da distância da dispersão aleatória. O indicador  $P_{pk}$  calcula as distâncias segundo o valor mínimo de PPU e PPL da seguinte forma:

$$PPU = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma_p} = \frac{LSE - \bar{X}}{3s} \quad (\text{Equação 13})$$

$$PPL = \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma_p} = \frac{\bar{X} - LIE}{3s} \quad (\text{Equação 14})$$

Logo,

$$P_{pk} = \frac{\text{Distância (Média/Limite mais próximo)}}{3\sigma_p} = \min. (PPU, PPL)$$

Um processo para ter capacidade terá de ter um  $P_{pk}$  superior a 1,33 (Duret, et al, 2009; Chrysler Corporation, et al, 2005).

### Avaliação da capacidade do processo ( $C_p$ e $C_{pk}$ )

Os índices  $C_p$  e  $C_{pk}$  são descritos de forma semelhante aos índices  $P_p$  e  $P_{pk}$  respetivamente. Considerando amostras mais pequenas em intervalos regulares, a dispersão de valores a curto prazo será calculada a partir da média da variância estimada pela amostragem (Duret, et al, 2009).

O calculo do  $C_p$  é definido pela seguinte forma:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6 \bar{R}/d_2} \quad (\text{Equação 15})$$

O índice de capacidade  $C_{pk}$  é sempre menor ou igual a  $C_p$  e é calculado como o mínimo valor de CPU ou CPL, assim deve ser avaliado e analisado em conjunto com as seguintes fórmulas:

$$CPU = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma_c} = \frac{LSE - \bar{X}}{3 \bar{R}/d_2} \quad (\text{Equação 16})$$

$$CPL = \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma_c} = \frac{\bar{X} - LIE}{3 \bar{R}/d_2} \quad (\text{Equação 17})$$

A capacidade do processo, isto é, o resultado do  $P_p$ ,  $P_{pk}$ ,  $C_p$  e  $C_{pk}$  são avaliados segundo a Tabela 4.

**Tabela 4 – Índices de capacidade para um processo produtivo**

Valor do Índice de Capacidade	Processo
< 1	Incapaz
1 a 1,33	Aceitável
> 1,33	Capaz

### 2.5. Análise dos Sistemas de Medição

Análise dos Sistemas de Medição é um conjunto abrangente de ferramentas para a medição, aceitação e análise de dados e erros, e inclui temas como controlo estatístico de processo, análise de capacidade, repetibilidade e reprodutibilidade, entre outros (Oliveira, 2006).

Segundo o Manual de MSA (2002), “**Sistema de Medição** é um conjunto de equipamentos ou instrumentos de medição, normas, operações, métodos, acessórios, *software*, pessoas, procedimentos e suposições, utilizados para a qualidade de uma unidade de medida ou avaliar corretamente a característica que está sendo medida, o processo completo usado para obter a medição”.

A MSA é dividida em dois tipos de análises: aquelas feitas para os dados de medição quantitativa e qualitativa e aquelas feitas com materiais de teste. Além disso, a mesma característica do produto deve ser medida várias vezes a fim de determinar a sensibilidade do processo de medição (Hassan, et al, 2009).

Se um sistema de medição opera sob condições estáveis pode ser usado para obter várias medições de uma determinada característica. Se as medidas resultantes estiverem próximas do valor nominal para essa característica, então a qualidade dos dados é boa, caso contrário, se as medidas estiverem afastadas do valor nominal, então a qualidade dos dados é fraca (DaimlerChrysler, et al, 2002).

A análise dos sistemas de medição (MSA) compara a qualidade e a exatidão das medições executadas por equipamentos de medida e operários (Feigenbaum, 1994).

A variação do sistema de medição pode-se caracterizar por:

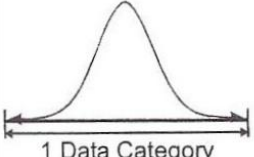
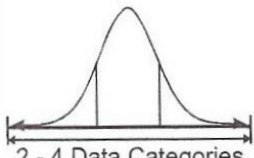
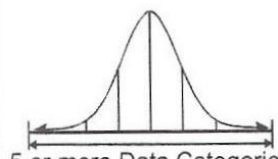
- Capacidade – variabilidade das leituras medidas num período curto de tempo;
- Desempenho – variabilidade das leituras medidas num período longo de tempo, baseada na variação total;
- Incerteza – um intervalo estimado de valores sobre o valor medido em que o verdadeiro valor é contido.

#### 2.5.1. DISCRIMINAÇÃO

A discriminação é a quantidade de mudança a partir de um valor de referência que um instrumento pode indicar detetar e indicar fielmente, também conhecido como leitura ou resolução. A discriminação representa a medida de menor graduação na escala de um instrumento.

A **regra geral** é a discriminação do instrumento de medição deve ser de pelo **menos um décimo** da variação do processo esperado pela característica a ser medido (intervalo). Por exemplo, se a variação da característica especial a ser medida é de 1, o equipamento deve ser capaz de "ler" uma mudança de 0,1.

Se a generalidade dos valores de uma variável dessem origem ao mesmo valor no sistema de medição (1º caso da Figura 9), então este sistema de medição não será aceitável para estimar os índices e parâmetros do processo. É recomendável um sistema de medição quando se apresenta com cinco ou mais categorias distintas (ndc) para o controlo dimensional do sistema produtivo (3º caso da Figura 9).

Number of Categories	Control	Analysis
 1 Data Category	Can be used for control only if: <ul style="list-style-type: none"> <li>• The process variation is small when compared to the specifications</li> <li>• The loss function is flat over the expected process variation</li> <li>• The main source of variation causes a mean shift</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Unacceptable</i> for estimating process parameters and indices</li> <li>• Only indicates whether the process is producing conforming or nonconforming parts.</li> </ul>
 2 - 4 Data Categories	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Can be used with semi-variable control techniques based on the process distribution</li> <li>• Can produce insensitive variables control charts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generally unacceptable for estimating process parameters and indices since it only provides coarse estimates</li> </ul>
 5 or more Data Categories	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Can be used with variables control charts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Recommended</i></li> </ul>

**Figura 9 – Impacto do ndc, segundo o Manual MSA (2002)**

Se o sistema de medição não possui discriminação (sensibilidade ou resolução efetiva), não pode ser um sistema adequado para identificar a variação do processo ou quantificar as características das partes individuais a controlar. O equipamento é inaceitável se não conseguir detetar a variação das causas especiais no controlo estatístico do processo (CEP) (DaimlerChrysler, et al, 2002).

### 2.5.2. ESTUDO DOS DADOS DE INSPEÇÃO

O resultado da medição ou análise da conformidade do produto inspecionado não estão isentos de erro.

O estudo do desempenho de inspeção tem como objetivo quantificar a variação existente nos valores da inspeção dimensional ou por atributos ao produto, determinando a precisão do processo no que diz respeito à recolha de dados. Este estudo pode avaliar diferentes processos de inspeção (atributos) e equipamentos de medida (dimensional) existente no controlo de qualidade, sendo igualmente válidos quanto à necessidade e importância.

Quando o processo está sob controlo, os resultados obtidos em sucessivas medições do mesmo valor dimensional, podem estar influenciados por dois tipos de erro:

$$\text{Valor Observado} = \text{Valor Verdadeiro} + \text{Erro Constante} + \text{Erro Aleatório}$$

**Erro Constante** – erro do equipamento admitido entre medidas consecutivas do mesmo valor dimensional, considerado por erro de calibração do equipamento (excluindo o erro do processo de medição).

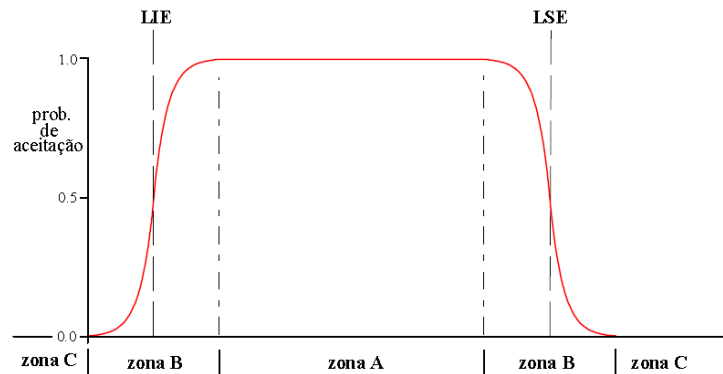
**Erro Aleatório** – erro incontrolável, proveniente de vários fatores que fazem parte do controlo dimensional do produto, compreendendo a variação de resultados obtidos entre medidas, como por exemplo, operador e condições ambientais.

Em condições de medição estabilizadas, cada resultado observado corresponde de facto a uma estimativa por amostragem de uma população com distribuição normal, com um dado valor médio (igual ao valor verdadeiro quando o erro constante é nulo) e um certo desvio padrão (correspondente à variabilidade inerente ao processo de medição) (Oliveira, 2006).

Quanto à determinação da conformidade dos produtos inspecionados, encontramos diferentes situações, como representa na Figura 10. O eixo vertical representa a probabilidade de aceitação do produto e no eixo horizontal as seguintes situações:

- Zona A – Conforme;
- Zona B – Incerteza (proximidade ao valor de especificação);
- Zona C – Não Conforme.

A Zona de incerteza, caracterizada por Zona B, será tanto maior quanto maior for a variação de valores no processo de medida. Nas zonas de transição há a possibilidade de certos produtos serem mal avaliados é maior, isto porque intuitivamente pode-se validar produtos conformes em não conforme e vice-versa.



**Figura 10 – Capacidade de inspeção nas tolerâncias de especificação, (Oliveira, 2006)**

A variação observada nas medidas obtidas da inspeção de uma certa amostra do produto é resultado da variação do produto inspecionado e do processo de medição:

$$\sigma_{\text{obs}}^2 = \sigma_{\text{prod}}^2 + \sigma_{\text{med}}^2$$

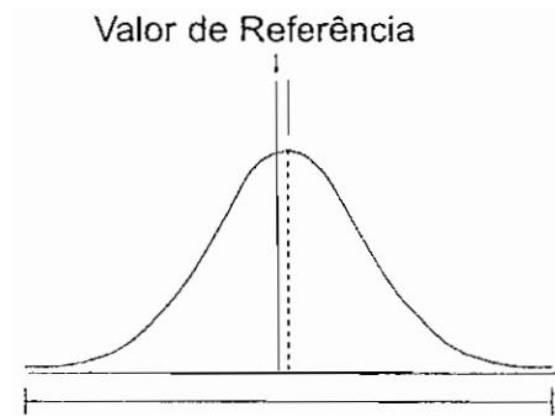
O controlo estatístico do processo pode ser incapaz devido à grande variação destes fatores (Oliveira, 2006).

### 2.5.3. REPETIBILIDADE E REPRODUTIBILIDADE (R&R)

A repetibilidade e reprodutibilidade são técnicas que ajudam a estudar a capacidade do sistema de medição. Estas técnicas implicam o registo dos operadores testados que falham nas medições propostas a análise, identifica os instrumentos de medição não adequados ao sistema e ferramentas fora de calibração (Feigenbaum, 1994).

A **repetibilidade** representa a variação observada de uma pessoa com as mesmas condições (mesmo método, mesmo equipamento), repetindo sucessivamente a mesma medida de um peça (ver Figura 11). Estes resultados são avaliados pelo desvio padrão médio estimado dos dados de repetibilidade ( $\sigma_r$ ). No caso de estudo de um processo de inspeção por atributos, é determinado da mesma forma e com as mesmas condições, excepto na classificação da peça ser “conforme” ou “não conforme”, como por exemplo a avaliação visual de um produto através de um dispositivo à prova de erro (Oliveira, 2006).

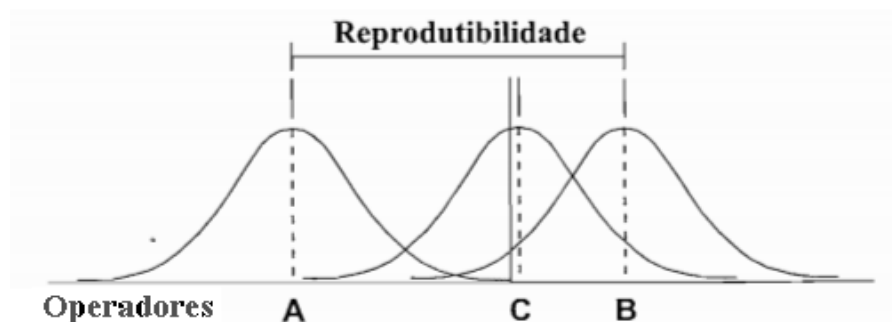




**Figura 11 – Repetibilidade (Manual MSA, 2002)**

A repetibilidade é uma variação de causa comum (erro aleatório), designada pela variação dentro do sistema de medição, isto se o sistema de medição apresentar condições normalizadas no posicionamento da peça, instrumento, método de medição e ambiente (DaimlerChrysler, et al, 2002).

A **reprodutibilidade** representa a variação observada entre as médias dos resultados obtidos ao medir a mesma peça com diferentes colaboradores (por exemplo A, B, e C) e mesmo equipamento de medição (ver Figura 12). A reprodutibilidade apresenta o erro “entre os operadores”, geralmente atribuída a diferenças entre os operadores que obtêm medições diferentes ao usar o mesmo instrumento de medição (MacGregor, et al, 1995). Estes resultados dão origem a um desvio padrão médio estimado dos dados de reprodutibilidade ( $\sigma_R$ ). No processo de inspeção por atributos, a técnica é determinada da mesma forma somente com diferenças na classificação da peça, isto é, “conforme” ou “não conforme”.



**Figura 12 – Reprodutibilidade (Manual MSA, 2002)**

Algumas das causas possíveis que revelam a baixo valor da repetibilidade e do valor da reprodutibilidade são a variação da peça, no equipamento de medição, no padrão da peça, no método de medição, do ambiente, na determinação do equipamento ou mesma na deformação da peça ou equipamento de medição (DaimlerChrysler, et al, 2002).

### Preparação da análise do sistema de medição (R&R)

A análise do sistema de medição é dada por uma estimativa da variação entre a repetibilidade e a reprodutibilidade. Assim define-se o R&R (Figura 13), como a variância dentro do sistema e entre sistemas:

$$\sigma_{R\&R}^2 = \sigma_{\text{reprodutibilidade}}^2 + \sigma_{\text{repetibilidade}}^2 \quad (\text{Equação 18})$$

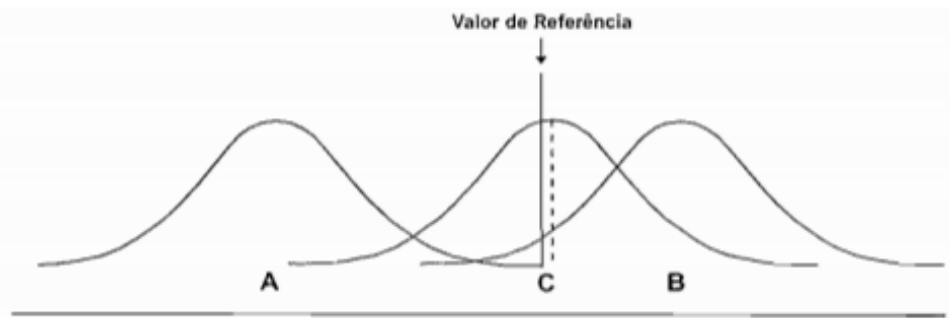


Figura 13 – R&R (Manual MSA, 2002)

A preparação para este estudo deve ser planeada quanto ao número de operadores existentes envolvidos no estudo, quantidade de peças a ser inspecionadas pelos operadores e o número de repetições que os operadores executam à mesma peça. Outros fatores que se devem considerar são a dimensão crítica que se vai analisar no estudo e requisitos do cliente. Os operadores escolhidos neste estudo devem ser os operadores que normalmente executam estas operações com o dispositivo de controlo.

No estudo do sistema de medição podem-se analisar duas situações. Para o controlo do produto na produção, onde o critério de decisão é determinado pela especificação da característica em estudo, esta análise é baseada pela tolerância de especificação da peça. Por outro lado, para o controlo do processo, esta análise determina a estabilidade do processo, tendência e capacidade do processo pelos resultados das medições ou critérios de decisão.

O método de medição deve ser normalizado para os operadores, de modo a efetuarem o controlo do processo sempre da mesma maneira como definido.

Para minimizar os erros durante o estudo dos sistemas de medição, devem-se efetuar as medições numa ordem aleatória sem que os operadores conheçam a identificação das peças. O registo dos dados no estudo de um dispositivo dimensional deve ter o limite máximo de dígitos representado na discriminação do equipamento. Este estudo de ser observado pelo responsável da análise de modo a conduzir um estudo mais fiável.

### **Método da Amplitude e Média ( $\bar{X}$ & R)**

O método da amplitude e média ( $\bar{X}$  & R) é uma das técnicas aceitáveis para o estudo dos dispositivos de medição por variáveis. O procedimento para este estudo inclui a definição de uma amostra de 10 ou mais peças numeradas respetivamente e a identificação dos colaboradores em teste. O dispositivo de medição em teste deve estar calibrado. Os operadores medem as  $n$  peças aleatoriamente e individualmente registando os dados numa folha de dados dimensionais (exemplo na Figura 14). As peças são medidas repetidamente, por exemplo 3 vezes a mesma peça, sem que haja plágio de dados entre colaboradores.

Para o exemplo de três colaboradores, A, B e C da Figura 14, os dados das 10 peças são retirados por 3 vezes cada peça e inseridos na linha 1,2 e 3 para o caso do colaborador A e na linha 6, 7 e 8 para o colaborador B e assim respetivamente.

Com todos os dados recolhidos dos operadores da Figura 14 são efetuados os cálculos para a determinação do R&R do dispositivo de medição, a partir da média ( $\bar{X}$ ) e da amplitude ( $\bar{R}$ ).

Na linha 4, 9 e 14 da folha de dados calcula-se a média ( $\bar{X}$ ) para cada peça das três medições segundo a (Equação 1).

	Avaliador / Medição N°	PEÇA										MÉDIA
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	A 1	0,29	-0,56	1,34	0,47	-0,80	0,02	0,59	-0,31	2,26	-1,36	
2	2	0,41	-0,68	1,17	0,50	-0,92	-0,11	0,75	-0,20	1,99	-1,25	
3	3	0,64	-0,58	1,27	0,64	-0,84	-0,21	0,66	-0,17	2,01	-1,31	
4	Média											$\bar{X}_a =$
5	Amplitude											$\bar{R}_a =$
6	B 1	0,08	-0,47	1,19	0,01	-0,56	-0,20	0,47	-0,63	1,80	-1,68	
7	2	0,25	-1,22	0,94	1,03	-1,20	0,22	0,55	0,08	2,12	-1,62	
8	3	0,07	-0,68	1,34	0,20	-1,28	0,06	0,83	-0,34	2,19	-1,50	
9	Média											$\bar{X}_b =$
10	Amplitude											$\bar{R}_b =$
11	C 1	0,04	-1,38	0,88	0,14	-1,46	-0,29	0,02	-0,46	1,77	-1,49	
12	2	-0,11	-1,13	1,09	0,20	-1,07	-0,67	0,01	-0,56	1,45	-1,77	
13	3	-0,15	-0,96	0,67	0,11	-1,45	-0,49	0,21	-0,49	1,87	-2,16	
14	Média											$\bar{X}_c =$
15	Amplitude											$\bar{R}_c =$
16	Média da Peça											$\bar{\bar{X}} =$ $\bar{R}_p =$
17	$\bar{\bar{R}} = ((\bar{R}_a = \quad) + (\bar{R}_b = \quad) + (\bar{R}_c = \quad)) / (\# \text{ DE AVALIADORES} = \quad) =$											$\bar{\bar{R}} =$
18	$\bar{X}_{DIF} = [Max \bar{X} = \quad] - [Min \bar{X} = \quad] =$											$\bar{X}_{DIF} =$

**Figura 14 – Exemplo de uma folha de dados para o estudo R&R, baseado no Manual MSA**

Na linha 5, 10, 15 da folha de dados calcula-se a amplitude ( $\bar{R}$ ) das três medições para cada peça, isto é, subtrair a maior valor pelo menor valor medido na peça n.

$$\bar{R} = |X_{\text{máximo}} - X_{\text{mínimo}}| \quad (\text{Equação 19})$$

Após estes cálculos somam-se os valores de cada linha (5, 10 e 15) e divide-se pelo número de peças amostradas e obtém-se a média das amplitudes de cada colaborador ( $\bar{R}_a$ ,  $\bar{R}_b$  e  $\bar{R}_c$ ). Os valores da média das amplitudes de cada colaborador são somados e dividido pelo número de colaboradores, desta forma resulta a média de todas as amplitudes ( $\bar{\bar{R}}$ ).

$$\bar{\bar{R}} = \frac{\bar{R}_a + \bar{R}_b + \dots + \bar{R}_m}{m} \quad (\text{Equação 20})$$

, sendo m = número de operadores.

Na última coluna da Figura 14, designada “Média” calcula-se as médias para todas as linhas, inclusive linha 4, 9 e 14 para determinar  $\bar{X}_a, \bar{X}_b$  e  $\bar{X}_c$ . A partir dos valores de  $\bar{X}_a, \bar{X}_b$  e  $\bar{X}_c$  calcula-se o valor de  $\bar{X}_{DIF}$ , dado que:

$$\bar{X}_{DIF} = |\text{Máx.} (\bar{X}_a, \bar{X}_b \text{ e } \bar{X}_c) - \text{Mín.} (\bar{X}_a, \bar{X}_b \text{ e } \bar{X}_c)| \quad (\text{Equação 21})$$

Na linha 16 é determinado a média por peça ( $\bar{X}_p$ ), segundo a (Equação 1) somando as medições para cada repetição de todos os colaboradores e dividir pelo número de medições (número de repetições multiplicado pelo número de colaboradores). Das médias por peça ( $\bar{X}_p$ ) determina-se a média das médias ( $\bar{\bar{X}}_p$ ) e a amplitude das médias dos colaboradores ( $\bar{R}_p$ ), dado que:

$$\bar{\bar{X}}_p = \frac{\bar{X}_{p1} + \bar{X}_{p2} + \dots + \bar{X}_{pn}}{n} \quad (\text{Equação 22})$$

$$\bar{R}_p = \text{Máx.} (\bar{X}_{p1}, \bar{X}_{p2}, \dots, \bar{X}_{pn}) - \text{Mín.} (\bar{X}_{p1}, \bar{X}_{p2}, \dots, \bar{X}_{pn}) \quad (\text{Equação 23})$$

, sendo n = número de peças.

A repetibilidade ( $\sigma_{\text{repetitividade}}$ ) ou a variação do equipamento (VE) é calculado pelo valor médio das amplitudes médias ( $\bar{\bar{R}}$ ) multiplicado pela constante ( $K_1$ ), dado por:

$$VE = \bar{\bar{R}} * K_1 \quad (\text{Equação 24})$$

, onde  $K_1 = 1/d_2$  depende do número de repetições utilizados no estudo (ver Anexo B).

A reprodutibilidade ( $\sigma_{\text{reprodutibilidade}}$ ) ou a variação entre colaboradores (VO) não inclui somente a variação entre colaboradores, mas também a variação do equipamento (VE), uma vez que a variação dos operadores está intrínseca à variação do equipamento. Desta forma, a variação entre operadores (VO) é determinada da seguinte forma:

$$VO = \sqrt{((\bar{X}_{DIF} * K_2)^2 - (\frac{VE^2}{n*r}))} \quad (\text{Equação 25})$$

, sendo r = n°. de repetições, n = tamanho de amostra e  $K_2 =$  uma constante igual a  $\frac{1}{d_2}$  (m = número de colaboradores e g=1 para um calculo da amplitude), ver Anexo B.

Com os valores das variações do equipamento (VE) e entre operadores (VO) pode-se calcular a variação do sistema de medição para a Repetibilidade & Reprodutibilidade (R&R):

$$R\&R = \sqrt{VE^2 + VO^2} \quad (\text{Equação 26})$$

A variação da peça (VP), isto é peça a peça sem variação da medição é calculada pela multiplicação da amplitude das médias das peças ( $\bar{R}_p$ ) e a constante  $K_3$ , dado por:

$$VP = \bar{R}_p * K_3 \quad (\text{Equação 27})$$

,sendo  $K_3 =$  uma constante  $\left(\frac{1}{d_2}\right)$  para  $g=1$  e  $m = n^\circ$ . de peças utilizadas no estudo, ver Anexo B.

Genericamente pode-se abordar de diferentes maneiras a determinação da variação total do processo (VT) que é aproveitada para analisar a aceitação da variação da medição utilizando:

- A variação do processo, baseada nas peças do estudo R&R. O cálculo VT é um indicador de tendência do processo e da apropriação do sistema de medição para o controle do processo (%R&R de VT) a partir da variação da peça (VP).

$$VT = \sqrt{R\&R + VP^2} \quad (\text{Equação 28})$$

- A tolerância de especificação, quando o dispositivo de controle é usado no controle do processo e o processo apresenta  $P_p < 1$ . Nesta opção, calcula-se a variação total com base na tolerância de especificação (VT).

$$VT = \frac{LSC-LIC}{6} \quad (\text{Equação 29})$$

Uma vez que se calcula a variabilidade para cada fator (VE, VO, VP e R&R) no estudo do sistema de medição pode-se compara-los com a variação total do processo (VT). Estes fatores são representados em percentagem e descritos pelas seguintes fórmulas:

- Variação do equipamento (%VE)

$$\%VE = 100 * \left(\frac{VE}{VT}\right) \quad (\text{Equação 30})$$

- Variação entre colaboradores (VO)

$$\%VO = 100 * \left( \frac{VC}{VT} \right) \quad (\text{Equação 31})$$

- Variação da peça (VP)

$$\%VP = 100 * (VP/VT) \quad (\text{Equação 32})$$

- Repetibilidade & Reprodutibilidade (R&R)

$$\%R\&R = 100 * \left( \frac{R\&R}{VT} \right) \quad (\text{Equação 33})$$

A soma de todas as percentagens destes fatores não pode ser igual a 100% da variação total do processo.

O objetivo deste estudo dos sistemas de medição foca-se na estimativa combinada da repetibilidade e da reprodutibilidade do sistema de medição (%R&R) obtendo-se uma estimativa da variação do sistema de medição, isto é, capacidade do sistema de medição. Esta capacidade é analisada para determinar se o sistema de medição em estudo é apropriada para a aplicação pretendida. A aceitação do sistema de medição, por regra geral é analisada através do critério da Tabela 5, segundo o manual MSA.

**Tabela 5 – Critério de R&R**

<b>RR</b>	<b>Decisão</b>	<b>Comentários</b>
Abaixo de 10%	Sistema de medição geralmente considerado aceitável	Recomendável, especialmente útil quando tentamos ordenar ou classificar peças ou quando for requerido um controlo apertado do processo.
Entre 10% e 30%	Poder ser aceito para algumas aplicações	A decisão deve ser baseada primeiro, por exemplo, na importância da aplicação da medição, custo do dispositivo de medição, custo do retrabalho ou reparo. O sistema de medição deve ser aprovado pelo cliente.
Acima de 30%	Considerado inaceitável	Todos os esforços devem ser tomados para melhorar o sistema de medição. Esta condição pode ser resolvida pelo uso de uma estratégia apropriada para a medição; por exemplo, utilizar a média de diversas medições da mesma característica da mesma peça a fim de reduzir a variabilidade da medida final.

O resultado deste estudo determina se o dispositivo em análise é aceitável para o controlo dimensional ou funcional.

Na fase final do estudo pode-se determinar o número de distintas categorias (ndc) para o sistema de medição (ver Figura 9). Este dado com um intervalo de confiança de 97% medirá a variação esperada do produto através do número inteiro de distintas categorias, dado por:

$$\text{ndc} = 1,41 * \left( V_p / R\&R \right) \quad (\text{Equação 34})$$

O valor calculado ndc deve ser o número aproximado para inteiro e maior ou igual a 5 (DaimlerChrysler, et al, 2002).



### 3. A EMPRESA DELPHI AUTOMOTIVE SYSTEMS E O SISTEMA PRODUTIVO

Este Capítulo apresenta de uma forma sumária, a organização da empresa e com mais detalhe, os processos produtivos da fábrica de plástico, onde se insere este projeto.

#### 3.1. Empresa, Produtos e Clientes

A empresa Delphi Automotive Systems é uma fábrica de peças de automóvel com sede em Troy nos EUA. É um dos maiores fornecedores da indústria automóvel no mundo, suportando mercados em três continentes, tais como, EUA, Europa e Ásia.

A empresa possui escritórios em todo o mundo. Possui 150 fábricas de propriedade integral, 44 empreendimentos conjuntos, 53 centros de clientes e escritórios de vendas e 33 centros técnicos em 38 países. Emprega cerca de 146 mil funcionários.

A Delphi Automotive Systems Portugal está situada em Braga e é especializada no fabrico de peças plásticas (moldação e acabamento), placas eletrónicas, montagem final de autorrádios, sistemas de Navegação e produtos de telemática para o ramo automóvel. Abrange uma área total de 30000 m<sup>2</sup> e é constituída por quatro edifícios (Figura 15) numa área coberta aproximadamente de 17000 m<sup>2</sup>. Emprega cerca de 750 colaboradores e produz anualmente mais de dois milhões de aparelhos. Esta produção é maioritariamente exportada para os maiores produtores da indústria automóvel.

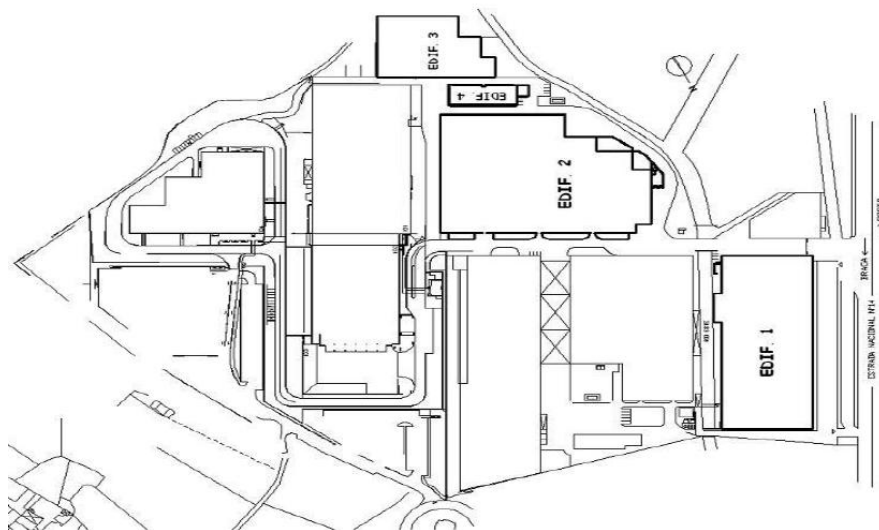
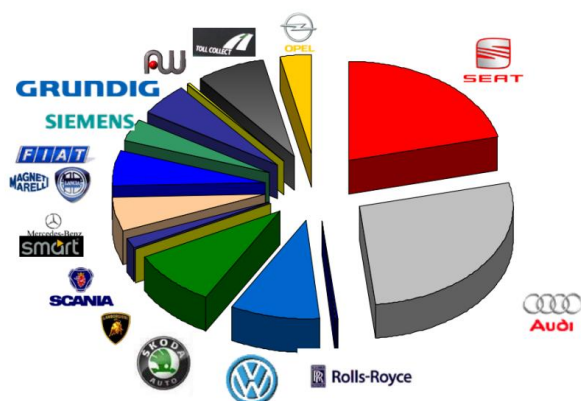


Figura 15 – Planta da fábrica Delphi em Braga.

Os clientes da Delphi são reconhecidos mundialmente pelo seu prestígio na construção automóvel, entre eles estão a Seat, Audi, Volkswagen, Audi, Volvo, Tata, Ford, Renault, Opel, Škoda e Rolls Royce (Figura 16).



**Figura 16 – Os principais clientes da história da Delphi Braga.**

A obtenção da certificação ISO 9001 em 1994 representou um marco decisivo para a implementação da Gestão da Qualidade Total (TQM). As certificações QS 9000 e VDA 6.1, obtidas em 1998, bem como as certificações ISO/TS 16949 e ISO 14001, em 2001, vieram reforçar o compromisso para atingir os mais elevados níveis de qualidade para os seus clientes. A nível ambiental foi ainda obtido, em 2004, o registo no EMAS.

A Delphi de Braga tem 45 anos de existência. É uma fábrica moderna, de alta tecnologia e com processos inovadores, que assegura à exigente indústria automóvel, produtos não só de alta qualidade, mas também fáceis de manusear e de bom *design*.

O processo de satisfação do cliente, existente nesta fábrica, assegura que em caso de não conformidade ou desvio do produto detetado pelo cliente, este recebe respostas e soluções atempadamente. Este processo de satisfação do cliente garante também, que as resoluções de problemas são efetivamente coordenadas e que as soluções encontradas são implementadas. Esta implementação não é só no produto e/ou linha onde o problema surgiu, mas também em produtos e processos similares.

### 3.2. Enquadramento na Delphi em Braga

A Delphi Braga tem em funcionamento dois edifícios de produção, o edifício 1 e 2 (ver Figura 15). O edifício 1 assume a produção de componentes eletrónicos para os autorrádios, antenas e outros, e faz a montagem final destes produtos. No edifício 2 está instalada a fábrica de plásticos que começou a funcionar apenas há um ano.

A fábrica de plástico é o local onde se insere este trabalho. Apresenta quatro áreas de produção, a injeção, a pintura, o acabamento e a montagem final das peças produzidas. Esta fábrica tem como objetivo ser o fornecedor direto de certos produtos a integrar na fábrica do Edifício 1 da Delphi.

A fábrica produz para a Tata, Opel, VW Low e por último para a Škoda, sendo este, um novo projeto na produção de blendas Škoda 25 Low e alvo deste trabalho (Figura 17).

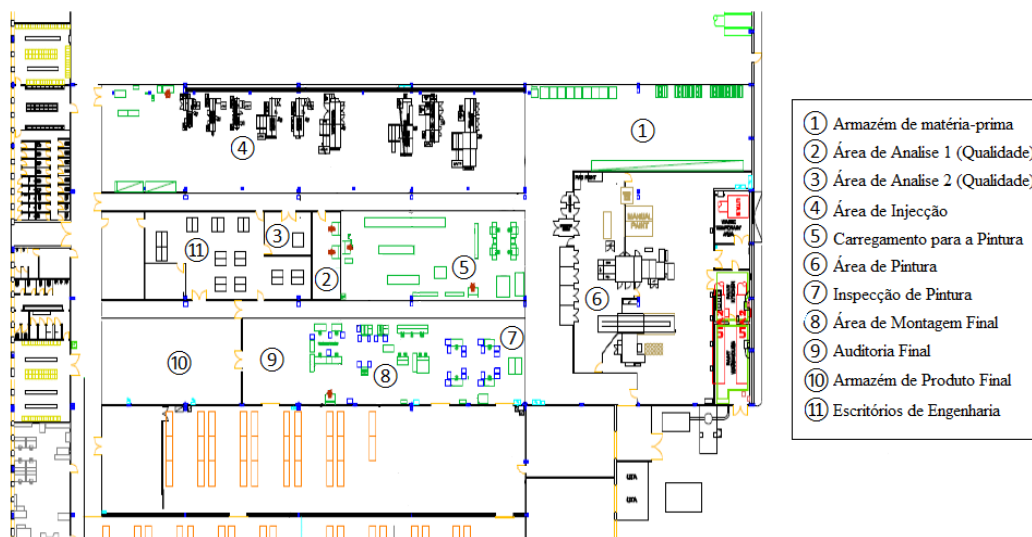


**Figura 17 – Os produtos da fábrica de plásticos Delphi Braga.**

O trabalho desenvolvido incide no apoio à qualidade na produção de blendas da Škoda na fábrica de plásticos da Delphi. Este trabalho está inserido na Área de Análise e na Área de Injeção da fábrica.

### 3.3. Descrição das Áreas de Produção e de Análise da Fábrica de Plásticos

A fábrica de plásticos é composta principalmente pelas áreas de injeção, pintura, montagem final e uma área reservada à análise da qualidade. Nestas áreas são necessárias diversas máquinas e processos para a produção de um produto. Na Figura 18 apresenta-se o *layout* da fábrica de plásticos da Delphi, ilustrado com as diversas zonas operacionais.



**Figura 18 – Layout do edifício 2 da Delphi**

### 3.3.1. ÁREA DE INJEÇÃO

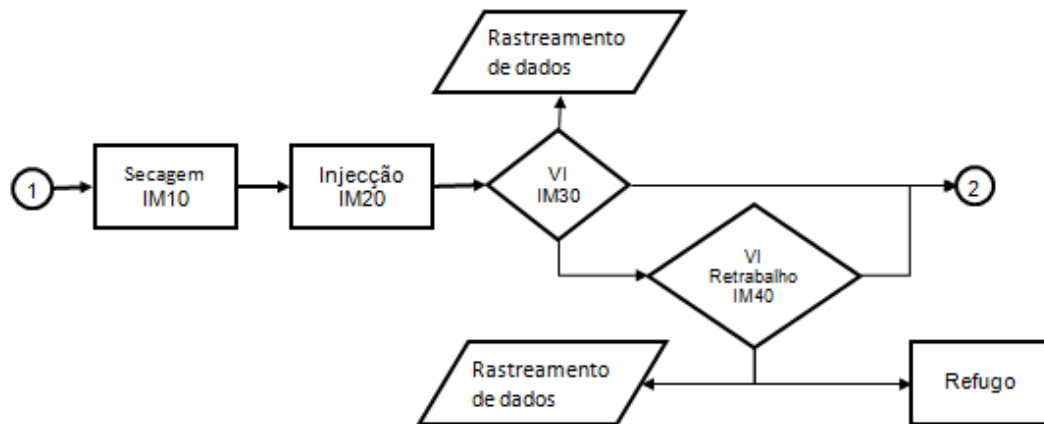
A primeira área de produção da fábrica é a de injeção de peças termoplásticas. Esta conta com dez máquinas de injeção. Duas dessas máquinas têm a capacidade de injetar dentro do molde, dois tipos de plástico diferente, conhecidas por máquinas de bi-injeção. A Moldagem por injeção é amplamente utilizada para a fabricação de uma variedade de peças, desde o menor componente para o auto rádio (por exemplo, botões) até ao painel do auto rádio, conhecido também por blenda (em inglês, *Trimplate*).

Na área de injeção, antes de iniciar a produção é necessário que o afinador verifique a ordem de produção, nomeadamente a referência e quantidade de peças a produzir (Figura 19).

Ordem de Produção - Injeção	
Ordem Nº	1721
Nº Peça	28149836
Qt	250
Data:	17-10-2010
Máquina:	Máquina #2
Resina :	28123322 - Resina xpto
	121 Kg
	
P0001721;000028149836;250	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: flex; justify-content: space-between;"> <div></div> <div>QC Pass</div> </div>	

**Figura 19 – Ordem de produção.**

O processo da moldagem de peças plásticas é identificado pelo seguinte fluxograma de fabricação (Figura 20).



**Figura 20 – Fluxograma da área de injeção.**

O processo produtivo começa com a introdução da matéria-prima (resina) num depósito de alimentação (que deve estar sempre tapado para evitar a entrada de resíduos) seguidamente passa por um processo de secagem, num desumidificador (IM10 da Figura 20; Figura 21).



**Figura 21 – Máquina de injeção e o desumidificador.**

A moldagem por injeção (IM20) é um processo cíclico de transformação de termoplástico e abrange as seguintes etapas:

- Aquecimento e fusão da resina;
- Homogeneização do material fundido;
- Injeção da matéria no interior da cavidade do molde;
- Resfriamento e solidificação do material na cavidade;
- Extração da peça moldada.

As peças injetadas são retiradas da passadeira da máquina e posteriormente são inspecionadas visualmente, pelo operador e colocadas em caixas.

O processo (IM30) consiste na decisão sobre a aceitação ou rejeição de peças injetadas baseando-se numa inspeção visual. Neste processo verifica-se a conformidade dos produtos, isto é, a validação das peças na ausência de qualquer tipo de defeito. O método de controlo passa por uma colocação de carimbo de Qualidade, na ordem de produção, colocada nas caixas (Figura 22). Se aparecer alguma inconformidade nas peças, o plano de reação consiste em segregar o material, colocar cartão amarelo nas caixas suspeitas, chamar o supervisor da operação e deslocar o material para a Área de Análise.



**Figura 22 – Armazenamento de *stock* da área de injeção.**

No processo (IM40) as peças suspeitas são inspecionadas a 100% fora da linha (Área de Análise). As peças defeituosas após este procedimento são consideradas refugo.

### 3.3.2. ÁREA DE ANÁLISE

A área de análise dá apoio à produção, recebe e analisa todos as peças suspeitas pelos operadores, provenientes das diversas áreas de produção. Inerente a esta área está a execução de testes em diversas zonas do produto, quer a nível visual, dimensional e funcional.

Esta área é composta por dois laboratórios de análise, o laboratório 1 e 2. O laboratório 1 está preparado para receber as peças provenientes da área da pintura e montagem final. O laboratório 2 é a área de análise, onde são inspecionadas as peças provenientes da área de injeção. Estes laboratórios fazem a última inspeção de controlo de qualidade e registo de dados.

## Laboratórios de Análise 1

Esta área de Análise, que recebe as peças suspeitas das áreas de produção está equipada com um computador para monitorizar os dados da inspeção e diversas ferramentas para executar retrabalho em peças não conformes. (Figura 23).



**Figura 23 – Laboratório de análise 1**

As peças suspeitas são transportadas em tabuleiros plásticos, chamados de *blister*. Os *blisters* são marcados a cor e armazenados em zonas apropriadas. Estas zonas de armazenamento estão marcadas com cores no chão, para identificar o estado do produto. As cores definidas para a identificação do material e para a zona de armazenamento estão representadas na Tabela 6.

**Tabela 6 – Identificação das áreas e *blisters*.**

Cor	Designação
Amarelo	Material Suspeito
Verde	Material Conforme
Vermelho	Material Não Conforme
Laranja	Retrabalho de Material

Os operadores de produção, quando suspeitam de alguma peça proveniente da linha de montagem ou pintura, colocam-na em blisters amarelos e deslocam-na para a zona amarela do laboratório da Qualidade 1 (Figura 24).



**Figura 24 – Zona amarela de armazenamento.**

Os defeitos analisados pelo operador da qualidade são registados no computador e inseridos num programa próprio da empresa.

Após a inspeção da peça ou produto nesta área de análise, há duas alternativas:

- **Conforme:** o produto é colocado numa zona verde até que seja devolvido à linha de montagem final, para ser validado novamente.
- **Não Conforme:** o produto defeituoso é segregado para uma zona vermelha, onde fica isolado e posteriormente colocado no refugo.



## **Laboratórios de Análise 2**

A Figura 25 representa o laboratório onde se realiza o controlo dimensional e visual das peças provenientes da área de Injeção. Este laboratório possui um computador ligado ao servidor que tem como objetivo registar os dados recolhidos através da inspeção das peças injetadas. O computador é portador das cartas de controlo dimensional e por atributos.



**Figura 25 – Laboratório de análise 2.**



O laboratório de controlo possui alguns equipamentos de medida para o controlo dimensional. Os equipamentos de medição utilizados estão representados na Tabela 7.

**Tabela 7 – Equipamentos de medida**

<b>Designação</b>	<b>Amplitude de medição</b>	<b>Resolução</b>	<b>Equipamento</b>
Paquímetro Digital	300 mm	0,01 mm	
Paquímetro Digital	150 mm	0,01 mm	
Micrómetro Digital	50 mm	0,001 mm	

Todos os equipamentos de medida são calibrados periodicamente por uma empresa externa, no âmbito de certificação. Os certificados de calibração são um conjunto de operações feitas ao instrumento de medição, sob condições específicas, isto é, relacionar o valor indicado no sistema de medição e uma grandeza padrão. Estes certificados são uma garantia de confiança para a inspeção dimensional de um controlo de qualidade.

Os dados da análise dimensional e visual recolhida por amostragem na área da injeção são digitalizados no computador num ficheiro Excel pelo operador da qualidade. O ficheiro Excel que monitoriza os dados dimensionais das peças injetadas é controlado através dos seus limites de especificação definidos pelo cliente.

## **4. PLANO DE CONTROLO**

### **4.1. Introdução**

O plano de controlo é uma metodologia que apoia a qualidade do produto na produção de acordo com os requisitos do cliente. Esta metodologia, através de uma abordagem estruturada requer uma seleção e implementação de métodos com valor acrescentado para o sistema de qualidade total. De uma forma sumária, o plano de controlo apresenta os sistemas utilizados na minimização de variação no sistema de controlo de peças e processos. O plano de controlo deve ser utilizado em conjunto com outros documentos relacionados, como por exemplo, as instruções de trabalho detalhadas.

O plano de controlo tem o objetivo de identificar características do processo e ajudar a identificar as suas fontes de variação (variáveis de entrada), que causam variação nas características do produto (variáveis de saída).

Para melhorar a satisfação do cliente, o plano de controlo concentra-se nos recursos sobre os processos e nas características relacionadas com o produto que são importantes para o cliente. A utilização de recursos adequados sobre as características do produto ajuda a minimizar os custos de produção sem perdas de qualidade.

O plano de controlo deve ser definido e usado continuamente. Ele é uma descrição escrita das ações que são necessárias em cada fase do processo, desde a receção da matéria-prima até à expedição do produto final, assegurando que todo o processo foi controlado.

Os métodos utilizados no plano de controlo asseguram o controlo das características requeridas pelo cliente.

O Plano de Controlo é atualizado conforme os sistemas de medição e métodos de controlo são avaliados e melhorados (Chrysler Corporation, et al, 1995).

A estrutura do plano de controlo da fábrica de plásticos da Delphi é baseada no Manual APQP e Plano de Controlo da Chrysler Corporation, Ford Motor Company e General Motors Corporation, ver Figura 42 do Anexo C, ou seja está alinhado com os requisitos da norma ISO/TS 16949.

Por fim, o plano de controlo, quanto ao nível de comunicação é um documento vivo que apresenta e transmite todas as alterações nas características, método de controlo e medição da característica do produto ou processo (Chrysler Corporation, et al, 1995).

Nas secções seguintes será abordado a preparação e desenvolvimento do plano de controlo do novo projeto Škoda 25.

#### **4.2. Plano de Controlo do Škoda 25**

A transferência de um novo projeto da Delphi do México para a Delphi de Braga fez com que se planeasse toda a produção para o novo projeto Škoda 25. Este projeto diz respeito ao fabrico de blendas para a marca de automóvel Škoda na fábrica de plásticos (Edifício 2).

A fábrica de plásticos em Braga já é detentora de dois projetos, o Tata e o Volkswagen Low na produção de blendas. Com o surgimento de um novo projeto, a fábrica necessita de um novo planeamento e de adquirir novos recursos de modo a garantir a qualidade do produto.

O plano de controlo para este novo projeto assemelha-se aos planos de controlo anteriormente estabelecidos, de modo a normalizar os processos na fábrica.

O plano de controlo foi desenvolvido para todos os processos e operações no fabrico da blenda Škoda 25. Este procedimento conta com uma equipa multidisciplinar para a sua formalização.

Este trabalho desenvolvido foca-se em parte das ações planeadas para a área de análise que visam controlar a qualidade das peças proveniente da área de injeção.

A área de injeção produz diversas peças plásticas que são componentes para o produto final. Na Figura 26 apresenta os componentes produzidos na área de injeção para a conceção da blenda Škoda 25.



A	Pushbutton AS
B	Pushbutton TP
C	Pushbutton Eject
D	Trimplate - Blank
E	Pushbutton 1
F	Pushbutton 2
G	Pushbutton 3
H	Pushbutton 4
I	Pushbutton 5
J	Pushbutton 6
L	Knob-Cap On/Off
M	Knob-Shuck

**Figura 26 – Componentes da blenda Škoda 25**

Para exemplificar os procedimentos desenvolvidos na área de injeção escolheu-se um componente do produto final que explica-se as ações preponderantes deste trabalho. O exemplo escolhido é o *Trimplate – Blank*, ponto D da Figura 26. Este componente foi selecionado devido à maior complexidade de controlo.

As características relacionadas com a peça *Trimplate – Blank* que são importantes para o cliente e envolvidas neste trabalho são o **controlo dimensional** e o **controlo funcional**.

#### 4.2.1. DEFINIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS PARA CONTROLO

A definição dos equipamentos de controlo tem como ponto de partida os desenhos técnicos dos componentes do produto. O desenho técnico é um documento informativo que contém todas as características relacionadas com o componente e informa os devidos pontos de controlo a executar na produção da peça.

O **controlo dimensional** é executado a partir dos equipamentos de medição existentes na fábrica (ver Tabela 7). A escolha do equipamento de medida para o controlo dimensional está relacionada com a discriminação do equipamento, isto é, a resolução do equipamento deve ter, pelo menos, um décimo da tolerância de especificação da característica a ser lida diretamente na peça (DaimlerChrysler, et al, 2002).

Desta forma, apresentam-se dois exemplos na Tabela 8 que demonstram a escolha dos equipamentos de medição para o controlo dimensional.

**Tabela 8 – Seleção do equipamento de medição**

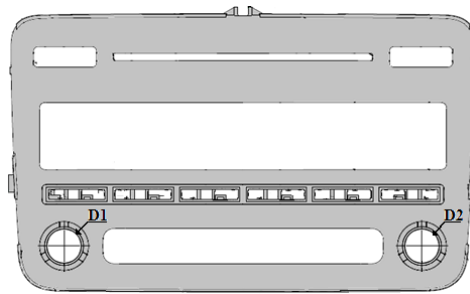
Requisitos da peça				Equipamento de medição		
Designação	Cota	Valor Nominal	Tolerância Especificação	Resolução	Discriminação	Conclusão
<i>Trimplate – Blank</i>	A	222,9	+/-0,15	0,01	1/15	Paquímetro 300
	B	136,49	+/-0,1	0,01	1/10	
<i>Pushbutton Eject</i>	A	33,21	+/- 0,1	0,01	1/10	Paquímetro 150
	B	14,05	+/- 0,1	0,01	1/10	

A discriminação não é o único critério na seleção do equipamento, a amplitude de medição do equipamento deverá ser adequado, de modo a superar o valor nominal da característica a ser medida na peça.

Como se pode ver na Tabela 8, no exemplo da peça *Trimplate – Blank* na cota A, a gama de valores do equipamento de medida deve incluir o valor nominal de 222,9 mm a controlar, desta forma, a escolha recai para o paquímetro com 300 mm. Quanto à discriminação, o paquímetro 300 mm apresenta uma discriminação de 1/15, este valor supera a necessidade, isto é, o paquímetro tem a capacidade de observar 15 pontos dentro da tolerância de especificação para a cota A.

Este controlo dimensional tem que ser registado e controlado estatisticamente prevenindo os desvios na produção. Os procedimentos relacionados com o controlo estatístico serão abordados no capítulo seguinte.

O **controlo funcional** é executado a partir do desenvolvimento de um dispositivo de teste. O dispositivo de teste tem como objetivo testar a funcionalidade de um componente ou de um produto. Para o projeto Škoda 25 foi exigido um teste funcional nos furos no *Trimplate – Blank*, isto é, testar o diâmetro do furo (D1 e D2), ver Figura 27.



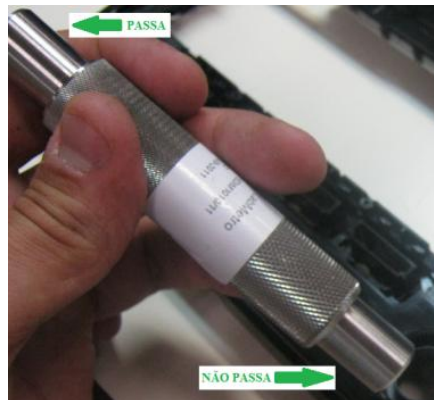
**Figura 27 – Requisito funcional da peça Trimplate – Blank**

Deste modo, desenvolveu-se o dispositivo de teste para esta característica com o apoio dos dados do desenho técnico do componente. A partir dos valores nominais do diâmetro D1e D2 da Tabela 9 desenvolveu-se o dispositivo de controlo funcional.

**Tabela 9 – Dimensões para o controlo funcional do Trimplate – Blank**

	Valor nominal	Tolerância	LIE	LSE
<b>D1</b>	15 mm	± 0,1 mm	14,9 mm	15,1 mm
<b>D2</b>	15 mm	± 0,1 mm	14,9 mm	15,1 mm

Este dispositivo de controlo para o diâmetro do furo, designou-se por Jig 2 e está representado na Figura 28.



**Figura 28 – Dispositivo de controlo funcional (Jig2)**

A construção deste dispositivo foi concebida numa empresa externa, com um conceito de “Passa” e “Não Passa”, em cada extremidade do controlador (ver Figura 28).

Este conceito foi desenvolvido pelas seguintes dimensões:

- Passa = LIE + Erro da máquina = 14,9 + 0,02 = 14,92 mm
- Não Passa = LSE + Erro da máquina = 15,1 + 0,02 = 15,12 mm

O valor do erro da máquina está relacionado com o erro na concepção do controlador, este valor é dado pelo construtor do dispositivo e acrescentado no conceito com a particularidade de definir precisamente o teste funcional.

O objetivo deste dispositivo funcional é certificar a conformidade dos furos através das duas ações em conjunto. O controlador “Passa” deve transitar por dentro do furo, Figura 29 a) e pelo outro lado do controlador “Não Passa” não deve transitar dentro do furo, Figura 29 b). Caso estas duas ações se confirmarem, o furo inspecionado (D1 ou D2) garante a conformidade desejada.



**Figura 29 – (a) “Passa”; (b) “Não passa”**

Após a concepção deste dispositivo funcional, ele é enviado para os laboratórios de certificação para ser calibrado.

O dispositivo de controlo e os equipamentos de medição são os instrumentos de controlo para a inspeção funcional e dimensional na área de injeção. O plano de controlo desta área foi definido com estes recursos para alcançar a qualidade pretendida.

#### 4.2.2. PLANO DA INJEÇÃO

O plano da injeção é uma parte do plano de controlo da qualidade para o projeto Škoda 25 e representa uma parte envolvente desde trabalho que foi desenvolvida na Área da Injeção. A Tabela 20 do Anexo C apresenta parte do plano de controlo que envolve o dispositivo funcional, equipamentos de medição e o plano de injeção.

O processo (IM20) como indica na Tabela 20 do Anexo C, apresenta quatro operações na produção de qualquer peça plástica do modelo Škoda 25 (*Trimplate – Blank, Pushbuttons e Knobs*), entre eles são:

- a) Preparação da Produção, ações preliminares para o funcionamento correto da máquina, ajustamento dos parâmetros da máquina para uma produção em conformidade;
- b) Preparação dos Produtos, início da produção com execução de testes a todas as características críticas do produto;
- c) Séries de Produção, ações de controlo durante o funcionamento contínuo das máquinas em produção;
- d) Fim de Produção, ações de controlo na fase final da série de produção.

Estas operações manifestam diferentes tipos de frequência de amostragem, a Tabela 10 apresenta os diferentes tipos de frequência usados na empresa.

**Tabela 10 – Frequência da amostra (Anexo D)**

<b>Tipo de Frequência</b>	<b>Designação</b>
<b>I</b>	No início do turno
<b>II</b>	No fim do turno
<b>III</b>	No início / reinício de série
<b>IV</b>	No fim de série
<b>V</b>	Meio do turno
<b>VI</b>	A cada ordem de fabrico

Os tipos de frequência no controlo da qualidade estão relacionados com os acontecimentos no processo de fabrico e com características importantes para o produto. No entanto, certos acontecimentos são mais influenciáveis quanto há consequência de defeitos na produção.

Na produção de peças plásticas se a preparação da produção (“*set up*”) for corretamente ajustada todo o lote de produção será conformemente produzido. Esta operação requer aprovação antes de iniciar a produção e aptidão para avaliar o “*set up*”. No entanto, a estabilidade das máquinas não são eternas, com o decorrer do tempo variam. Assim, o planeamento do controlo por amostragem pode corrigir esses desvios, com o auxílio das cartas de controlo (Oliveira).



### **Preparação da produção**

Nesta operação, o operador prepara a máquina de injeção antes de iniciar a produção do produto que se encontra em ordem de fabrico. Esta operação requer o ajuste de parâmetros estabelecidos na máquina. Estes parâmetros são visualizados numa “Ficha de Afinação” que apresenta os valores previamente definidos.

O controlo dos parâmetros da máquina requer um controlo visual com uma frequência tipo III da Tabela 10. Os registos dos parâmetros estabelecidos na máquina são apontados num documento, chamado “Início/ Fim de Série”. Este registo requer uma análise aos valores dos parâmetros estabelecidos na máquina de injeção. No entanto, quando há uma mudança na série de produção regista-se numa "*Check – list*" o estado atual da máquina e do processo (limpeza, arrumação, afinação, etc.).

### **Preparação dos Produtos**

Na operação de preparação dos produtos verificam-se todas as características relacionadas com o produto. Esta análise inclui com uma inspeção visual, um teste funcional e um controlo dimensional.

O controlo visual da peça consiste em verificar a ausência dos seguintes defeitos mais comuns na área de injeção:

- Deformações (chupados, marcas, peças partidas,...);
- Rebarbas;
- Queimados;
- Falta de matéria;
- Marcas de extração;
- Cor correta das peças (preta).

Esta inspeção é efetuada segunda a Tabela 10 pelo operador da qualidade com a frequência tipo II, III e IV. A amostra para a inspeção visual é de 1 peça injetada. Os dados recolhidos pelas peças analisadas são documentados numa “Folha de atributos” (ver Anexo E).

A “Folha de atributos” é um documento onde se monitoriza periodicamente os dados da produção da peça, estes dados revelam a identificação da peça, máquina e molde utilizado na

produção, como também o operador, hora e data de inspeção. Estas informações são uteis, registrando historicamente o comportamento da peça. Após o registo da inspeção visual ao produto segue-se o controlo funcional da peça.

O controlo funcional é um controlo que se faz unicamente à peça *Trimplate – Blank* no início ou no reinício de uma série de produção, este controlo conta com a presença do dispositivo da Figura 28, o Jig2. O operador da qualidade testa a funcionalidade da peça através do dispositivo e regista a conformidade numa “Folha de atributos” (ver Anexo E).

O controlo dimensional das peças é executado pelo operador da qualidade que recolhe 3 peças na área de injeção com uma frequência tipo II, III e IV. As peças são transportadas para o laboratório 2 da área de análise para serem medidas e monitorizadas no computador. O operador segue as instruções do “plano da injeção”, onde verifica o equipamento de medição que tem de utilizar para medir a amostra, como também as dimensões e tolerâncias de especificação da peça que está a ser inspecionada. No Anexo D apresenta-se um exemplo de um plano de injeção desenvolvido para o *Trimplate – Blank*, este plano foi desenvolvido para todas as referências do produto.

O plano apresentado no Anexo D contém duas imagens da peça (8 e 9), estas imagens representam os pontos de medição e respetivos limites de especificação. Os pontos de medição são um meio instrutivo para qualquer operador que execute a inspeção dimensional. Assim sendo, as imagens servem para informar o ponto de colocação do instrumento de medição na peça, de modo a normalizar todas as inspeções efetuadas.

Os dados das dimensões retiradas da amostra são introduzidos numa carta de controlo dimensional (ver Anexo F).

### **Séries de Produção e Fim de Produção**

As operações correspondentes às séries de produção e ao fim da produção apresentam o mesmo método de controlo e a mesma frequência de inspeção. Estas operações contam com o método da inspeção visual e dimensional ao produto como se apresentou na operação anterior. Estas inspeções são executadas pelo operador da qualidade com uma frequência de tipo II, III e IV segunda a Tabela 10. Para a inspeção visual é recolhida uma peça injetada e para a inspeção

dimensional são recolhidas 3 peças injetadas consecutivas. Os dados são registados do mesmo modo, na “Folha de atributos” (Anexo E) para a inspeção visual e numa carta de controlo dimensional (Anexo F) para a inspeção dimensional.

Todas estas operações mencionadas anteriormente seguem o mesmo plano de reação, isto é, sempre que for detetado pelo operador uma peça com defeito verifica-se as 5 peças injetadas anteriormente e as 5 peças injetadas posteriores à peça defeituosa. Este plano de reação implica uma paragem da máquina no caso de surgir mais alguma peça com o mesmo defeito, alertando o técnico da injeção e a responsável pela qualidade. O material defeituoso é segregado e colocado num local apropriado na área da qualidade, a zona vermelha.

### **4.3. Controlo Estatístico de Processo (CEP)**

Nesta secção, o controlo estatístico do processo será inserido no controlo das peças na área da injeção. Este controlo enquadra-se numa fase inicial de pré-produção e posteriormente durante a produção.

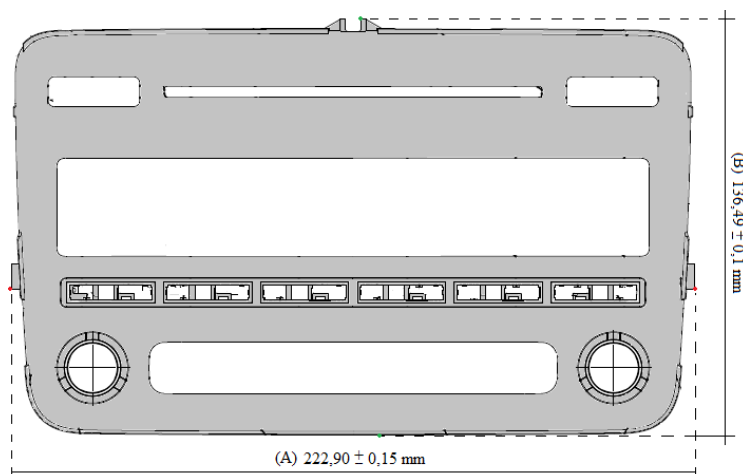
Numa fase de pré-produção a empresa estuda a capacidade do processo, de modo a certificar-se que o processo tem capacidade de produzir o produto dentro das exigências especificadas. Estes resultados são enviados ao cliente final para a validação do produto final.

A necessidade de controlar o sistema de produção na Área da Injeção pela empresa levou ao estudo do processo para a implementação de limites de controlo nas cartas de controlo. Antes deste trabalho desenvolvido na empresa, os dados dimensionais recolhidos por amostragem eram inseridos numa carta de controlo delimitada somente pelos limites de especificação do produto. Como já foi referido anteriormente, as cartas de controlo com limites de especificação, não controlam a variação do processo.

No desenvolvimento da carta de controlo foi utilizada uma folha de cálculo *Excel* para gerir continuamente a variação durante a produção detetando eventuais causas especiais. Este trabalho também envolve o estudo da capacidade do processo durante a produção.

Todos os componentes do produto final estão sujeitos a este controlo. Os desenhos técnicos dos componentes apresentam as dimensões da peça, com as respetivas tolerâncias de especificação, e ainda incluiu as variáveis críticas que se pretendem controlar.

A partir da análise dos desenhos técnicos que contém os requisitos do cliente analisa-se quais as variáveis críticas que se apresentam na peça. Este passo é o ponto de partida para todo este desenvolvimento. A Figura 30 representa duas variáveis dimensionais críticas de A e B.



**Figura 30 – Dimensões do *Trimplate – Blank***

As dimensões de controlo no caso A do *Trimplate – Blank* foi o ponto crítico escolhido para exemplificar todos os procedimentos que foram desenvolvidos neste capítulo. Estes procedimentos foram desenvolvidos para todas as peças em produção para o produto final na empresa.

**Tabela 11 – Limites de especificação para o controlo dimensional**

	Valor nominal	Tolerância	LIE	LSE
<b>Dimensão A</b>	222,90 mm	± 0,15 mm	222,75 mm	223,05 mm
<b>Dimensão B</b>	136,49 mm	± 0,10 mm	136,39 mm	136,59 mm

Na Tabela 11 apresenta-se o Limite Inferior de Especificação (LIE) e o Limite Superior de Especificação (LSE) das dimensões A e B do desenho técnico do *Trimplate – Blank*.

#### 4.3.1. APROVAÇÃO DO PRODUTO NA EMPRESA

A empresa Delphi ao receber um novo projeto para a produção necessita de efetuar um estudo do processo inicial em relação ao seu desempenho. Este estudo é requerido pelo cliente para aprovar a produção do produto, de modo a garantir que tem capacidade de o produzir continuamente sem grandes variações. Esta análise ao processo inicia-se com a verificação da sua estabilidade e no estudo do desempenho do processo ( $P_p$  e  $P_{pk}$ ), uma das etapas do PPAP.

Esta etapa, correspondente ao ponto 11 do PPAP consiste no estudo do processo inicial, que visa demonstrar que o processo crítico possui estabilidade.

### Recolha de dados

Na pré-produção do *Trimplate – Blank* retiraram-se 30 peças num período contínuo, visto que o processo não foi parado e nem ajustado durante o intervalo de tempo que foi retirada a amostra. Essas peças foram analisadas visualmente e após a sua validação, isto é, a ausência de defeito, seguiram para uma análise dimensional. A análise dimensional foi efetuada através da utilização de um paquímetro digital de 300 mm (ver Tabela 12).

**Tabela 12 – Recolha de dados da dimensão A (mm).**

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
222,96	222,95	222,91	222,91	222,91	222,92	222,93	222,92	222,92	222,94
$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{16}$	$x_{17}$	$x_{18}$	$x_{19}$	$x_{20}$
222,93	222,91	222,94	222,94	222,93	222,92	222,91	222,92	222,94	222,91
$x_{21}$	$x_{22}$	$x_{23}$	$x_{24}$	$x_{25}$	$x_{26}$	$x_{27}$	$x_{28}$	$x_{29}$	$x_{30}$
222,95	222,94	222,96	222,95	222,94	222,95	222,93	222,94	222,92	222,92

Os dados apresentados na Tabela 12 são valores individuais de uma única amostragem de 30 peças. Apesar da empresa normalmente retirar amostras de 3 peças para análise numa fase de produção, nesta fase inicial do projeto torna-se mais económico analisar o processo com 30 peças em vez de 30 amostras de tamanho 3. Desta forma, em vez de se retirarem 90 peças por referências, retiram-se apenas 30 peças, minimizando o uso de recursos.

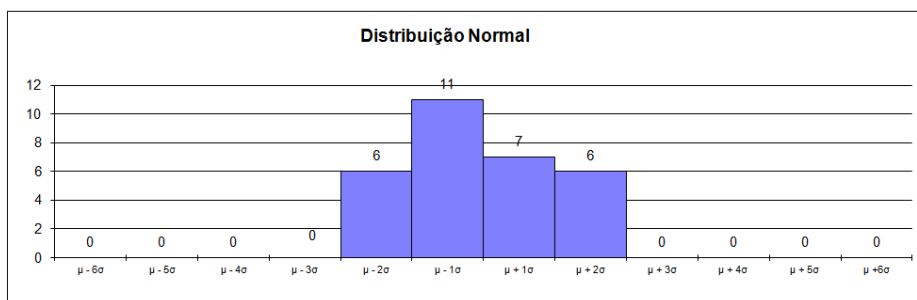
### Análise da Distribuição dos dados

Após a recolha de dados calcula-se a média e o desvio padrão dos valores individuais do processo ( $x_i$ ).

$$\bullet \quad \mu_x = \sum_{i=1}^{30} x_i / 30 = 222,9307 \text{ mm} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\bullet \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{30} (x_i - 222,9307)^2}{n-1}} = 0,01574 \text{ mm} \quad (\text{Equação 2})$$

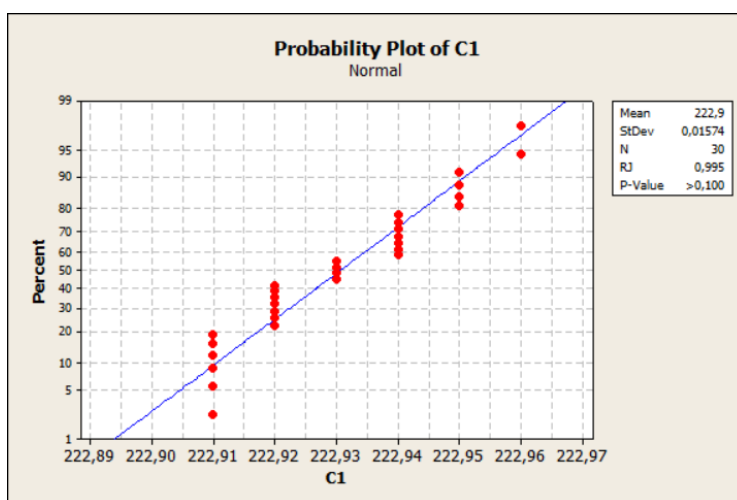
Com o auxílio do *Excel* constrói-se um histograma de frequência relativa, de modo a verificar como se comportam os valores quanto à sua distribuição. Como se pode verificar na Figura 31, os dados recolhidos na pré-produção não se afastam muito da distribuição normal.



**Figura 31 – Histograma de frequência relativa**

Esta distribuição normal representa que os valores obtidos na recolha dos dados variam  $\pm 2\sigma$  do valor médio da amostra.

Através do *software* Minitab realizou-se o teste Ryan-Joiner, de modo a verificar por outro lado se os dados provêm ou não de uma distribuição normal. Se o modelo for adequado o gráfico construído com os dados da amostra deve mostrar uma linha reta. O método baseia-se na construção de um modelo de regressão linear (Figura 32).



**Figura 32 – Teste Ryan-Joiner**

Se o coeficiente de correlação é próximo de 1, a população é suscetível de ser normal. Como  $P\text{-Value} > 0.1$ , não há evidências para rejeitar a hipótese nula, isto é, que esta amostra é proveniente de uma população que segue a distribuição normal.

Após esta conclusão pode-se verificar se o processo se encontra sob controlo. Para verificar a estabilidade do processo foram calculados os limites de controlo para as cartas de valores individuais e amplitude móvel (X, AM). As cartas de valores individuais e amplitude móvel não são tão sensíveis na deteção de variação na média como as cartas de controlo por médias e amplitudes.

### Cartas de valores individuais e amplitude móvel ( $X_i$ , AM)

O parâmetro conhecido da média, igual 222,9307 mm calculado anteriormente, através dos dados da amostra é fundamental para o cálculo dos limites de controlo.

Para este cálculo de limites de controlo é necessário analisar a forma como a amplitude móvel (AM) se comporta ao longo do processo. Na Tabela 13 são determinadas as amplitudes móveis da amostra, este calculado consiste na diferença de amplitude entre duas leituras consecutivas (Equação 4).

**Tabela 13 – Amplitudes móveis (AM) da amostra**

AM	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$
	-	0,01	0,04	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02
	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$X_{16}$	$X_{17}$	$X_{18}$	$X_{19}$	$X_{20}$
	0,01	0,02	0,03	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03
	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$	$X_{24}$	$X_{25}$	$X_{26}$	$X_{27}$	$X_{28}$	$X_{29}$	$X_{30}$
	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01

A partir dos valores AM calcula-se a média das amplitudes móveis ( $\overline{AM}$ ). Seguidamente apresenta-se os limites de controlo e linha central para os gráficos ( $X$ , AM).

- $$\overline{AM} = \frac{Am_1 + Am_2 + Am_3 + \dots + Am_{30}}{29} \approx 0,01379 \text{ mm} \quad (\text{Equação 5})$$

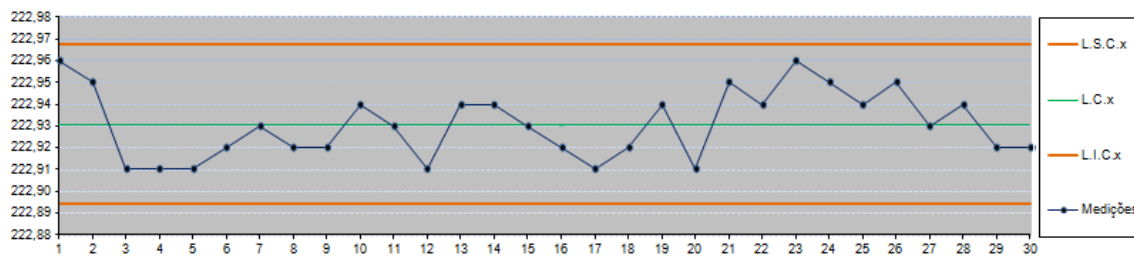
#### Limites de controlo X:

- $L.S.C._X = 222,93 + 2,66 \times 0,01379 \approx 222,971 \text{ mm}$
- $L.C._X \approx 222,931 \text{ mm} \quad (\text{Equação 7})$
- $L.I.C._X = 222,93 - 2,66 \times 0,01345 \approx 222,894 \text{ mm} \quad (\text{Equação 8})$

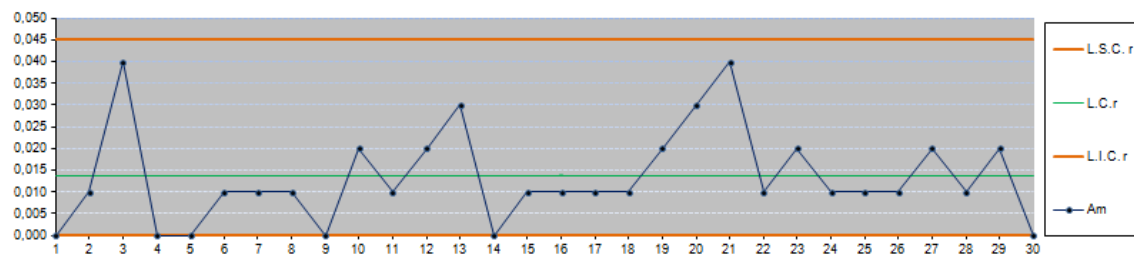
#### Limites de controlo AM:

- $L.S.C._{AM} = 3,27 \times 0,01379 \approx 0,0451 \text{ mm} \quad (\text{Equação 9})$
- $L.C._{AM} \approx 0,0138 \text{ mm} \quad (\text{Equação 10})$
- $L.I.C._{AM} = 0 \times 0,01379 = 0 \text{ mm} \quad (\text{Equação 11})$

Na presença dos limites de controlo construiu-se o gráfico X, AM, de forma a analisar os valores individuais do processo (ver Figura 33 e Figura 34).



**Figura 33 – Análise do gráfico X**



**Figura 34 – Análise do gráfico AM**

Nos gráficos X e AM verifica-se que todos os pontos encontram-se dentro dos seus respetivos limites de controlo.

Quando os valores individuais ( $x_i$ ) e amplitudes móveis ( $AM_i$ ) não apresentam causas assinaláveis de variação (pontos fora dos limites de controlo), presume-se que o processo está sob controlo estatístico e estarão ativas somente causas naturais.

Após esta conclusão da estabilidade do processo através dos gráficos de controlo em relação as condições da população, pretende-se de seguida, analisar o processo quanto ao seu desempenho nesta fase preliminar.

### **Índices de desempenho do processo ( $P_p$ e $P_{pk}$ )**

Nestas condições referidas anteriormente é possível estimar os limites de variação dos valores individuais e apurar se esses limites correspondem aos pré-requisitos estipulados pelo cliente. Assim, analisa-se o desempenho do processo, de forma a verificar se a característica do produto está dentro da tolerância de especificação.

Para verificar o desempenho do processo, utilizou-se o desvio padrão ( $\sigma_x$ ) e a média da população (X) calculada anteriormente, igual a 0,01574 mm e 222,9307 mm respetivamente.



A média geral das amostras ( $\bar{\bar{X}}_A$ ) considerou-se igual à média do processo ( $\bar{X}$ ), visto que foi retirada numa única amostragem ( $n=30$ ), desta forma, calcularam-se os índices de desempenho.

### Índice de desempenho do processo ( $P_p$ )

- $P_p = \frac{223,05 - 222,75}{6 \times 0,01574} = 3,17618$  (Equação 12)

O índice  $P_p$  é aproximadamente 3,18. Este valor é superior a 1, logo segundo a Tabela 4 o processo terá capacidade para cumprir as especificações (Oliveira, 2004). Sendo um valor significativamente maior que 1,33 o processo encontra-se com bastante folga.

### Índice de desempenho do processo ( $P_{pk}$ )

O processo com capacidade não garante que o processo esteja a produzir unidades conformes dentro das especificações, isto porque, o índice  $P_p$  não relaciona o descentramento do processo com os limites de especificação. Portanto, os dois índices PPU e PPL são uma relação da média do processo com o LSE e LIE respetivamente. Assim sendo o valor do índice  $P_{pk}$  é o menor valor entre o PPU e PPL, isto é, o pior caso, que demonstra a tendência deste descentramento.

- $PPU = \frac{223,05 - 222,9307}{3 \times 0,01574} = 2,5268$  (Equação 13)

- $PPL = \frac{222,9307 - 222,75}{3 \times 0,01574} = 3,8255$  (Equação 14)

O valor do índice  $P_{pk}$  é aproximadamente 2,527. Este valor é superior ao índice esperado que corresponde a 1,33 da Tabela 4, assim sendo apresenta-se com capacidade o processo. No entanto, a discrepância entre os valores (PPU e PPL) apresenta uma pequena descentralização no processo com apresenta na Figura 35.

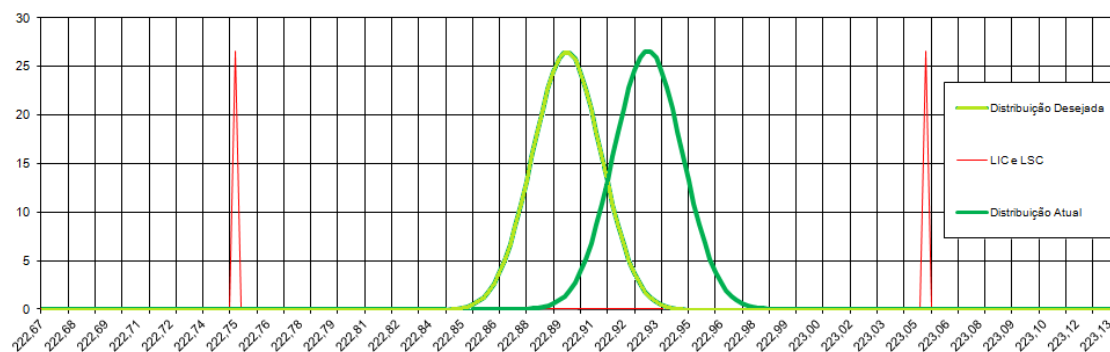


Figura 35 – Posição e distribuição

A distribuição atual apresenta uma deslocação da média do processo em relação à distribuição desejada (valor nominal de especificação). Concluindo que o processo está estável e tem bastante folga, este descentramento não é relevante perante a capacidade do processo.

### **Conclusão**

A avaliação dos processos relativos a todas as referências envolvidas no produto final, nesta fase de pré-produção, apresentaram-se na maioria dos casos como processos estáveis e com capacidade, como apresentou o caso demonstrado.

No entanto apresentou-se um caso excecional, numa variável crítica de uma referência do produto final que se encontrava fora da tolerância de especificação. Este caso particular, apesar de estar sob controlo estatístico, apresentava-se sem capacidade devido ao seu descentramento da média. Este descentramento “atirava” as unidades produzidas desta referência para fora dos limites de especificação. Desta forma, analisou-se o processo e concluiu-se que havia problemas no molde. Os moldes para este novo projeto não são novos, eles foram transferidos de outra fábrica. Neste caso, o molde que produziu estas unidades não conformes, apresentou-se com um certo desgaste na produção desta referência. Para reverter esta situação, o molde foi sujeito a uma retificação até que as peças estabilizassem aproximadamente no valor nominal estabelecido nas especificações técnicas.

Após a finalização da análise de todas as peças do produto final, foram enviadas amostras do produto final ao cliente. Este produto foi validado pelo cliente e aprovada a produção deste projeto na fábrica Delphi.

Depois da aprovação do produto segue-se a elaboração das cartas de controlo para a produção.

#### **4.3.2. GRÁFICOS DE CONTROLO**

Para a implementação das cartas de controlo na área de injeção optou-se pelos gráficos de controlo por variáveis, visto que o interesse incide no controlo dos resultados de um processo de medida. Esta implementação foi aplicada em todas as referências do produto como já se referiu anteriormente e o exemplo demonstrado será o *Trimplate – Blank*.

As cartas de controlo por variáveis supõem que os resultados medidos são estatisticamente independentes e provenientes de uma população com distribuição normal (Oliveira, 2004). Esta afirmação foi comprovada anteriormente no estudo da amostragem da pré-produção.

Para a elaboração das cartas de controlo implica definir previamente três pontos relacionados:

- que limites de controlo serão aplicados;
- qual é o tamanho da amostra;
- qual é a frequência da amostragem (Oliveira, 2004).

Foram seleccionados os gráficos  $\bar{X}$  e s. Apesar dos gráficos  $\bar{X}$  e R envolverem menos cálculos e ser mais acessível ao utilizador, os gráficos  $\bar{X}$  e s são ligeiramente mais fiáveis quanto à estimativa da dispersão do processo (Oliveira, 2004).

Na empresa Delphi todo o sistema envolvido no desenvolvimento do produto é normalizado. O tamanho da amostra para a recolha de dados dimensionais na produção de peças injetadas é igual a 3 peças injetadas, sendo estas retiradas do processo produtivo consecutivamente. A frequência da amostragem está detalhada no Anexo D.

Os cálculos dos limites de controlo inicialmente foram baseados nos parâmetros conhecidos na pré-produção das peças injetadas. Desta forma, pode-se controlar os processos numa fase inicial da produção. Com o conhecimento da média ( $\mu_x = 222,931$  mm) e do desvio padrão ( $\sigma_x = 0,0157$  mm) da peça *Trimplate – Blank*, valores determinados anteriormente, calcularam-se os limites de controlo segundo as formulas dos parâmetros conhecidos da Tabela 2:

#### **Gráfico X-barra**

- $L. S. C_{\bar{x}} = 222,931 + \frac{3 \times 0,0157}{\sqrt{3}} \approx 222,958$  mm
- $L. C_{\bar{x}} \approx 222,931$  mm
- $L. I. C_{\bar{x}} = 222,931 - \frac{3 \times 0,0157}{\sqrt{3}} \approx 222,903$  mm

## Gráficos

- $L.S.C._\sigma = 2,276 \times 0,0157 = 0,035733 \approx 0,0358 \text{ mm}$
- $L.C._\sigma = 0,883 \times 0,0157 = 0,01391 \approx 0,0139 \text{ mm}$
- $L.I.C._\sigma = 0 \times 0,0157 = 0 \text{ mm}$

Após a determinação dos limites de controlo elaborou-se para cada referência envolvida no produto uma carta de controlo para o processo.

Porém, a presença de situações irregulares no início do projeto, nomeadamente peças com certos tipos de defeitos visuais ou dimensionais nas peças injetadas proporcionou alterações nos parâmetros ou mesmo retificação das máquinas de injeção. Estes ajustes no processo proporcionam alterações na média do processo, isto é, um deslocamento na média da amostra. Por esse motivo, em certas referências do produto foi necessário recalcular novos limites de controlo.

### 4.3.3. AJUSTAMENTO DO PROCESSO

Os ajustes ao processo são ações frequentes quando existe a necessidade de melhorar o processo. O objetivo destas ações passa pela centralização do processo na característica especificada pelo cliente.

O exemplo demonstrado anteriormente da peça *Trimplate – Blank* foi uma das referências que sofreu um ajustamento do processo e apresentou os valores da Tabela 14 no início da produção.

**Tabela 14 – Recolha de dados na produção do *Trimplate – Blank***

Amostra n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Medição 1	222,89	222,90	222,90	222,88	222,88	222,87	222,89	222,91	222,90	222,90	222,91	222,91	222,91	222,91	222,90
Medição 2	222,91	222,91	222,90	222,87	222,87	222,87	222,88	222,91	222,91	222,91	222,91	222,92	222,91	222,89	222,89
Medição 3	222,89	222,90	222,91	222,87	222,89	222,89	222,88	222,92	222,91	222,90	222,92	222,91	222,90	222,91	222,91
Média de X-barra	222,90	222,90	222,90	222,87	222,88	222,88	222,88	222,91	222,91	222,90	222,91	222,91	222,91	222,90	222,90
Desvio padrão	0,0115	0,0058	0,0058	0,0058	0,0100	0,0115	0,0058	0,0058	0,0058	0,0058	0,0058	0,0058	0,0058	0,0115	0,0100

Esta recolha de dados são amostras do processo retiradas na primeira semana de produção que foram introduzidas dentro dos limites calculados anteriormente do gráfico  $\bar{X}$  e s (ver Figura 36 e 37).

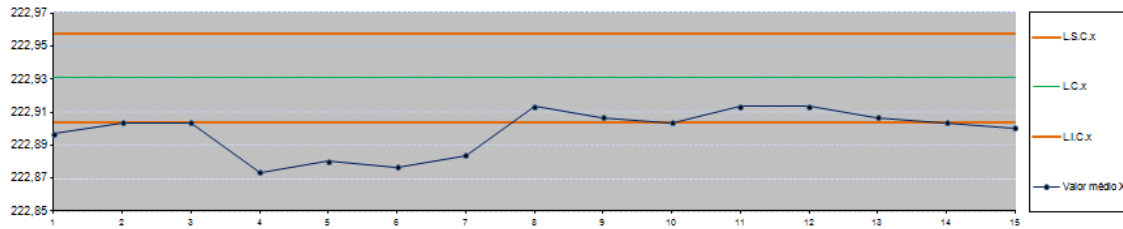


Figura 36 – Análise do gráfico X-barra

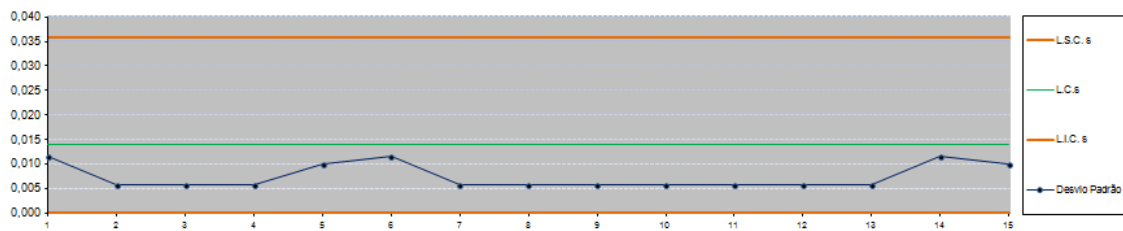


Figura 37 – Análise do gráfico s

Analisando o gráfico  $\bar{X}$ , conclui-se que apresenta vários pontos fora de controlo, causadas pelo deslocamento da média das amostras (causas assinaláveis). O valor médio das médias das amostras ( $\bar{\bar{X}}$ ) está sobreposto ao limite inferior de controlo. No gráfico s, os valores médios do desvio padrão da amostra mostram-se dentro dos limites de controlo, isto é, não apresentam causas assinaláveis, apenas a existência de variação natural (causas comuns).

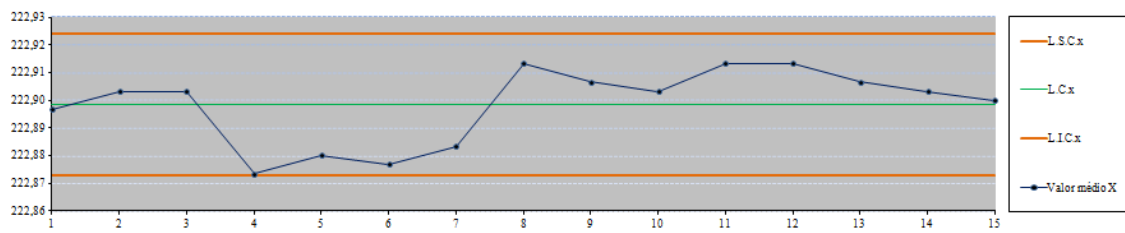
A deslocação da média das amostras no gráfico  $\bar{X}$ , Figura 36, levou a um novo estudo pelo motivo do processo estar fora de controlo. Desta forma recalculou-se novos limites de controlo para o gráfico  $\bar{X}$  e s.

Segundo a Tabela 14, os valores recolhidos da produção serviram para determinar a nova média do processo ( $\mu_{\bar{x}}$ ) e o desvio padrão da média ( $\sigma_{\bar{x}}$ ). A média do processo ( $\mu_{\bar{x}}$ ) passou a 222,8984 mm correspondente ao valor nominal da peça. O desvio padrão da média da amostra ( $\sigma_{\bar{x}}$ ) é igual a 0,01476 mm. Assim o limite de controlo para os gráficos X-barra e s apresenta-se recalculado na Tabela 15, segundo as fórmulas dos parâmetros conhecidos da Tabela 2.

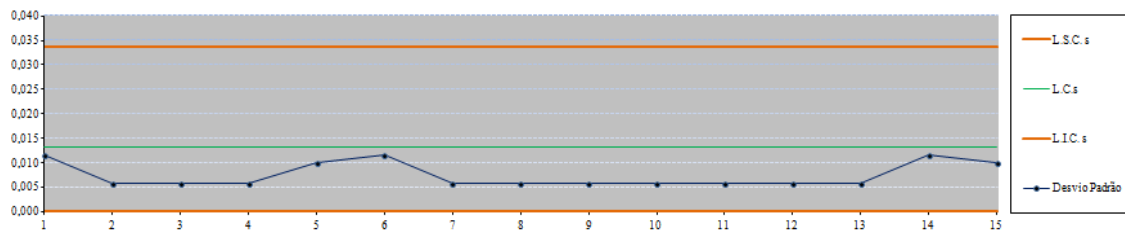
Tabela 15 – Novos limites de controlo para a peça *Trimplate – Blank*.

Gráfico X-barra			Gráfico s		
L. S. C. $_{\bar{x}}$	L. C. $_{\bar{x}}$	L. I. C. $_{\bar{x}}$	L. S. C. $_{\sigma}$	L. C. $_{\sigma}$	L. I. C. $_{\sigma}$
222,924	222,898	222,873	0,0336	0,0131	0

A Figura 38 e Figura 39 mostram como se comporta os valores da média e do desvio padrão da média das amostras numa fase inicial, correspondente aos limites calculados na Tabela 15.



**Figura 38 – Análise do gráfico X-barra após ajustamento**



**Figura 39 – Análise do gráfico s após ajustamento**

Os valores médios de  $\bar{x}$  e  $s$  apresentam-se sob controlo estatístico, isto é, entre os valores de limite inferior e superior de controlo. Quando o processo se encontra desta forma, não necessita de ajustamentos, está ausente de causas assinaláveis e representa algumas variações de causas comuns que não afetam a instabilidade do processo.

Os limites de controlo do gráfico X-barra são designados pela variação efetiva de  $3\sigma$  (a  $\frac{3\sigma_x}{\sqrt{n}}$  para cada lado do L.C.). O risco de falso aviso para esta variação é dada por:

$$\alpha = 2 \times \text{prob.} \left[ \bar{x} > \text{LSC} \left( \mu, \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \right) \right] = 2 \times \text{prob.} [z \leq -3] = 2 \times 0,00135 = 0,0027$$

Esta expressão é multiplicada por 2 porque o processo está centrado, desta forma, tem a mesma probabilidade de se encontrar pontos a cima e baixo do L.C. Se  $\bar{X} \sim N \left( \mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$ , mostra que 99,73% das observações de  $\bar{X}$  encontram-se no intervalo de  $\mu \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$  (Oliveira, 2004).

Então o ARL, número esperado de amostras inspecionadas antes de um operador detetar um falso aviso será:

$$\text{ARL} (k) = \frac{1}{\text{prob. de deteção}} = \frac{1}{0,0027} \approx 340 \text{ amostras}$$

O processo de controlo por cartas de controlo é contínuo e atualizado periodicamente. Quando o processo está fora de controlo e necessita de intervenção, compete ao responsável da qualidade rever o processo e melhorá-lo continuamente.

#### 4.3.4. ELABORAÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLO E O SEU DESENVOLVIMENTO

As cartas de controlo foram construídas para todas as referências do produto Škoda 25 para dar início ao controlo do processo na fase de produção. A sua elaboração foi concebida pelo *software Excel* com o objetivo de controlar a produção estatisticamente pelos limites de controlo, através de um gráfico X-barra e o gráfico s, como também para avaliar a capacidade do processo ( $C_p$  e  $C_{pk}$ ) ao longo da produção.

A carta de controlo é um documento que contém a identificação da peça, da matéria-prima, das especificações do produto, do equipamento de medição e do método envolvido. A Figura 40 apresenta a informação que contempla a carta de controlo para o registo do controlo dimensional da peça “*Trimplate-blank*”.

Data:	03.08.2011	Referência:	283174**	Molde n.º:	1511**	Matéria:	PC	Ref. Matéria:	283057**
Nº Cavidades:	1	Característica:	Largura	Índice de Capacidade	1,33	Tamanho Amostra	3	Desv. Pad. Histórico	0,01476
Equip. de Medição	Paq.300 ref*826	L.I.E.	222,75	Valor nominal:	222,90	L.S.E	223,05	A1	1,73205

**Figura 40 – Informação para o registo do controlo dimensional**

O operador responsável pela medição e recolha de amostras sempre que inicia uma nova carta de controlo preenche os respetivos dados para o registo do controlo dimensional. Quando se inicia o controlo dimensional das peças o operador da qualidade abre a carta de controlo referente ao componente que se quer analisar e identifica que equipamento de medição está adequado para retirar as medidas de controlo, por exemplo o paquímetro de 300 mm com a referencia \*826 (número de série), ver Figura 40.

A carta de controlo tem a capacidade de introduzir um total de 25 amostras por folha de *Excel*, ver Figura 41. Os dados recolhidos são colocados por coluna em cada amostra, neste caso, cada amostra são 3 peças. Se os valores introduzidos na carta saírem fora dos limites de especificação, o operador recebe uma alerta, isto é, a célula onde se introduziu o valor fica vermelho e recebe num aviso “Atenção: os valores estão fora de tolerância. Informar a Qualidade”. As peças da amostra são identificadas em relação à máquina, data, hora e turno de produção, como também se identifica por código o operador que executou o controlo.

<b>Avisos:</b>	<b>Atenção: os valores estão fora de tolerância. Informar a Qualidade</b>											
<b>Máquina:</b>	004	004	004	004	004	004	004	004	004	004	...	004
<b>Data:</b>	3-Ago	3-Ago	3-Ago	8-Ago	9-Ago	9-Ago	9-Ago	9-Ago	9-Ago	10-Ago	...	12-Ago
<b>Hora:</b>	11:00	14:30	16:00	22:30	7:30	9:00	14:30	17:30	20:00	9:00	...	9:00
<b>Turno:</b>	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	...	1
<b>Operador:</b>	91352	91352	91352	91352	91352	91352	91352	91352	91352	91352	...	91352
<b>Amostra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>...</b>	<b>25</b>
Medição 1	222,890	222,900	222,900	222,880	222,880	222,870	222,890	222,910	222,900	223,100	...	222,910
Medição 2	222,910	222,910	222,900	222,870	222,870	222,870	222,880	222,910	222,910	222,910	...	222,920
Medição 3	222,890	222,900	222,910	222,870	222,890	222,890	222,880	222,920	222,910	222,900	...	222,910
<b>Observações</b>										Peça c/ Defeito		

**Figura 41 – Introdução dos dados do controlo dimensional**

Esta carta de controlo apresenta um espaço para observações, o espaço foi criado para colocar informação em relação a problemas que possam surgir na amostra ou identificar causas assinaláveis durante a produção, como por exemplo peça com defeito (Figura 41).

Como já se referiu anteriormente esta carta de controlo tem a função de controlar os dados recolhidos pelo gráfico X e s como avalia a capacidade do processo ao longo da produção.

### Capacidade do Processo

Quando se está a controlar o processo e ele permanece estável (sob controlo estatístico) pode-se avaliar também a sua capacidade.

A avaliação da capacidade do processo é calculada ao longo do tempo de produção com os dados que são introduzidas na carta de controlo. Desta forma, pode-se avaliar como se comporta o processo em relação à variação máxima permitida ( $C_p$ ) e quanto à centralização do processo e capacidade ( $C_{pk}$ ). Este procedimento é semelhante ao cálculo referido anteriormente do índice de desempenho do processo ( $P_p$  e  $P_{pk}$ ). O desvio padrão ( $\sigma_c$ ) para este procedimento é variável ao longo da produção, de modo a analisar a sua capacidade no instante da produção. Desta forma calcula-se  $C_p$  segundo a (Equação 15) e para o  $C_{pk}$  o valor mínimo entre a (Equação 16 e 17) referida anteriormente no Capítulo 2.

O Anexo F apresenta um exemplo da carta de controlo para a referência “*Trimplate-blank*”. Esta encontra-se completamente preenchida com os dados recolhidos nas 3 primeiras semanas de produção. Pode-se verificar que este processo se manteve com capacidade durante esse período de tempo. Na análise ao gráfico da capacidade do processo no Anexo F pode-se ver que o  $C_p$  e  $C_{pk}$  são superiores a 1,33.



Todos os componentes do produto final são sujeitos ao controlo dimensional, no caso particular da peça *Trimplate-blank* apresenta também um controlo funcional. Apesar deste exemplo está controlado há outros fatores que podem fragilizar a qualidade no controlo do processo. Os instrumentos de medição e o dispositivo para o controlo funcional, caso não estejam aprovados para a inspeção da qualidade do produto podem causar certas variabilidades nos dados recolhidos para o controlo da qualidade no processo produtivo.

## 5. ANÁLISE DOS SISTEMA DE MEDIÇÃO

Os sistemas de medição que são analisados neste capítulo dizem respeito aos dispositivos de controlo do produto da área de injeção. Assim, será analisado o equipamento de controlo dimensional para a peça “*Trimplate-blank*”, já mencionada anteriormente.

O dispositivo de controlo utilizado para esta peça no âmbito do controlo dimensional do processo é o paquímetro de 300 mm (Tabela 7). Os equipamentos de controlo dentro da empresa encontram-se calibrados.

A calibração dos equipamentos é executada por uma empresa externa que efetua um conjunto de operações. Essas operações estabelecem sob condições específicas uma comparação entre o paquímetro ou dispositivo funcional e um conhecido valor de referência padrão e de incerteza (DaimlerChrysler, et al, 2002).

Os resultados da calibração destes dispositivos de controlo apresentam-se com as condições ambientais de temperatura de 20°C. O paquímetro digital de 300 mm passou na inspeção visual com os valores do Anexo G e com as condições ambientais de temperatura de 20,5°C e humidade relativa de 53,6%hr.

A calibração dos equipamentos são efetuados semestralmente e sempre que se suspeite do mau funcionamento do equipamento de controlo. No entanto, antes da análise dos sistemas de medição, o relatório de calibração dos equipamentos apresentaram-se estáveis.

O estudo dos sistemas de medição podem se classificar em 5 categorias de erro: tendência, repetibilidade, reprodutibilidade, estabilidade e linearidade. No entanto, o objetivo deste estudo dos sistemas de medição foca-se na estimativa combinada da repetibilidade e da reprodutibilidade do sistema de medição, produzindo uma estimativa da variação do sistema de medição.

A Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R) é, por outras palavras, a variância igual a soma das variâncias dentro do sistema e entre sistemas de medição. O resultado deste estudo determina se o dispositivo em análise é aceitável para o controlo dimensional.

## **5.1. Estudo de Repetibilidade e Reprodutibilidade**

A metodologia aplicada neste estudo consiste em reunir 10 amostras de modo a poder representar grande parte da amplitude de variação admissível da característica controlada. Estas amostras são numeradas de maneira a serem o menos visível aos colaboradores em estudo.

Para iniciar o estudo as amostras são colocadas de forma aleatória para medição. Cada colaborador realiza 3 medições de cada amostra, sendo a sequência de medição diferente em cada ciclo de medição. Este estudo é controlado e observado pelo analisador de modo a conduzir um estudo mais confiável.

### **5.1.1. ESTUDO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO POR VARIÁVEIS**

O estudo do sistema de medição por variáveis através do método da Amplitude e Média ( $\bar{X}$  & R), apresenta uma estimativa da repetibilidade e da reprodutibilidade do equipamento de medição, neste caso, a aprovação do paquímetro digital de 300 mm para o controlo dimensional do processo.

Para iniciar estudo utilizou-se uma folha de recolha de dados para o estudo R&R, de modo a registar as 10 peças com 3 observações para cada peça e operador. Para o estudo colaboraram 3 colaboradores, o A, B e C. Na Figura 43 do Anexo H apresenta uma folha com os dados da peça, colaborador e recolha de dados dos três colaboradores. O colaborador A é uma operadora de controlo de qualidade e o colaborador B e C são operadores da injeção, o colaborador B é um operador em formação que regista também os dados de controlo do processo. Nas Tabela 16, 17 e 18 apresentam respetivamente os dados registados dos colaboradores A, B e C.

Através dos valores registados na recolha de dados é calculado para cada colaborador, a média (Equação 1) e a amplitude (Equação 19) das três medições efetuadas a cada peça numerada.

**Tabela 16 – Dados da colaboradora A (mm)**

Colaborador A	Nº Amostras										Média Colaborador A [ $\bar{X}_a$ ; $\bar{R}_a$ ]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1ª Medição	222,94	222,94	222,92	222,93	222,94	222,92	222,93	222,94	222,92	222,93	222,931
2ª Medição	222,94	222,94	222,92	222,93	222,94	222,92	222,93	222,94	222,92	222,93	222,931
3ª Medição	222,94	222,94	222,92	222,93	222,94	222,92	222,94	222,94	222,92	222,93	222,932
Média Colaborador A [ $X_a$ ]	222,94 0	222,94 0	222,92 0	222,93 0	222,94 0	222,92 0	222,93 3	222,94 0	222,92 0	222,93 0	<u>222,931</u>
Amplitude Colaborador A [ $R_a$ ]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	<u>0,001</u>

Na Tabela 16 pode-se verificar que a colaboradora A apresenta pouca variação dentro de cada amostra, na presença das 10 amostras o colaborador apresenta uma variação com amplitude média ( $\bar{R}_a$ ) de 0,001 mm, segundo a (Equação 19) e uma média ( $\bar{X}_a$ ) de 222,931mm, segundo a (Equação 1).

**Tabela 17 – Dados do colaborador B (mm)**

Colaborador B	Nº Amostras										Média Colaborador B [ $\bar{X}_b$ ; $\bar{R}_b$ ]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1ª Medição	222,94	222,94	222,92	222,92	222,94	222,90	222,94	222,93	222,92	222,92	222,927
2ª Medição	222,94	222,94	222,93	222,92	222,93	222,90	222,94	222,93	222,92	222,92	222,927
3ª Medição	222,94	222,93	222,93	222,92	222,94	222,90	222,94	222,93	222,93	222,92	222,928
Média Colaborador B [ $X_b$ ]	222,94 0	222,93 7	222,92 7	222,92 0	222,93 7	222,90 0	222,94 0	222,93 0	222,92 3	222,92 0	<u>222,927</u>
Amplitude Colaborador B [ $R_b$ ]	0,000	0,010	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	<u>0,004</u>

A Tabela 17 correspondente ao colaborador B, este colaborador da área de injeção manifesta mais variação do que a colaboradora A da área da qualidade, visto que dentro de cada amostra apresenta por vezes uma variação de 0,01 mm que resulta de uma amplitude média ( $\bar{R}_b$ ) entre as amostras de 0,004 mm. Respetivamente à média das amostras ( $\bar{X}_b$ ) de todas as medições exhibe o valor 222,927 mm.

**Tabela 18 – Dados do colaborador C (mm)**

Colaborador C	Nº Amostras										Média Colaborador C [ $\bar{X}_c$ ; $\bar{R}_c$ ]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1ª Medição	222,93	222,95	222,93	222,94	222,93	222,91	222,94	222,94	222,92	222,94	222,933
2ª Medição	222,93	222,95	222,93	222,94	222,93	222,91	222,94	222,94	222,92	222,94	222,933
3ª Medição	222,93	222,95	222,93	222,94	222,93	222,91	222,93	222,94	222,92	222,94	222,932
Média Colaborador C [ $\bar{X}_c$ ]	222,930	222,950	222,930	222,940	222,930	222,910	222,937	222,940	222,920	222,940	<u>222,933</u>
Amplitude Colaborador C [ $\bar{R}_c$ ]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	<u>0,001</u>

Por fim, a Tabela 18 mostra os dados do colaborador C que por sua vez comporta-se de forma semelhante ao colaborador A. Este colaborador apresenta pouca variação dentro de cada amostra resultando uma amplitude média ( $\bar{R}_c$ ) de 0,001 mm e uma média das amostras ( $\bar{X}_c$ ) de 222,933 mm.

Através dos valores registados na recolha de dados é calculado a médias por amostra ( $\bar{X}_p$ ) e as amplitude das médias por peça ( $\bar{R}_p$ ) dos três colaboradores, através das médias da amostra registada pelos colaboradores ( $X_a, X_b, X_c$ ), ver Tabela 19.

**Tabela 19 – Média das médias e amplitudes médias dos colaboradores A, B e C (mm)**

Colaborador (A,B,C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média dos Colaboradores [ $\bar{\bar{X}}_p$ ; $\bar{\bar{R}}_p$ ]
Média por Amostra [ $\bar{X}_p$ ]	222,937	222,942	222,926	222,930	222,936	222,910	222,937	222,937	222,921	222,930	<u>222,930</u>
Amplitude das Médias [ $\bar{R}_p$ ]	0,010	0,013	0,010	0,020	0,010	0,020	0,007	0,010	0,003	0,020	<u>0,032</u>

Os valores médios apresentados pelos colaboradores são calculados a partir da média das médias ( $\bar{\bar{X}}_p$ ) e amplitude das médias dos colaboradores ( $\bar{\bar{R}}_p$ ), a partir dos valores das médias por amostra ( $\bar{X}_p$ ), dado que:

- $\bar{\bar{X}}_p = 222,930 \text{ mm}$  (Equação 22)

- $\bar{\bar{R}}_p = 0,032 \text{ mm}$  (Equação 23)

De um modo geral, conclui-se que o colaborador B é o colaborador que revela mais variação na medição dentro da mesma amostra (na Tabela 17 apresenta-se com uma variação de 0,01 mm

na mesma peça em 4 das 10 amostra testadas). Este colaborador é por sua vez o operador mais novo na área de injeção. Presume-se que o operador necessita de mais formação no que diz respeito na aptidão para controlo dimensional das peças de injetadas.

### **Análise das Medições**

Esta análise estima a variação e a percentagem da variação do processo para todo o sistema de medição, incluído a repetibilidade, a reprodutibilidade e a variação da peça (ver Figura 44 do Anexo H).

Para determinar a repetibilidade ( $\sigma_{\text{repetibilidade}}$ ) ou a variação do equipamento (VE) é necessário o valor médio das amplitudes médias ( $\bar{\bar{R}}$ ), dado que:

$$\bar{\bar{R}} = \frac{0,001 + 0,004 + 0,001}{3} = 0,002 \text{ mm} \quad (\text{Equação 20})$$

, logo

$$VE = 0,002 * K_1 = 0,00118 \text{ mm} \quad (\text{Equação 24})$$

Sendo  $K_1 = 1/d_2$ , uma constante igual a 0,5908 para  $m = 3$  medições repetidas e  $g = 10$  colaboradores, obtida no Anexo B.

Para determinar a reprodutibilidade ( $\sigma_{\text{reprodutibilidade}}$ ) ou a variação entre operadores (VO) calculou-se em primeiro lugar a máxima diferença entre as médias dos colaboradores ( $\overline{X_{\text{DIF}}}$ ), dado que:

$$\overline{X_{\text{DIF}}} = 0,0053 \text{ mm} \quad (\text{Equação 21})$$

Desta forma, a variação entre operadores (VO) é determinada:

$$VO = \sqrt{((0,0053 * K_2)^2 - (\frac{0,00118^2}{10*3}))} = 0,00278 \text{ mm} \quad (\text{Equação 25})$$

Sendo  $r = 3$  repetições, um tamanho de amostra de  $n = 10$  e uma constante  $K_2 = \frac{1}{d_2} = 0,5231$  ( $m = 3$  colaboradores e  $g = 1$  para um calculo da amplitude), ver Anexo B. O resultado desta variação entre operadores (VO) é corrigido através da subtração da variação do equipamento (VE), não afetando assim o resultado nesta incerteza.

Com os valores das variações do equipamento (VE) e entre operadores (VO) pode-se calcular o valor da Repetibilidade & Reprodutibilidade (R&R):

$$R\&R = \sqrt{VE^2 + VO^2} = 0,00302 \text{ mm} \quad (\text{Equação 26})$$

Assim, a variação do sistema de medição que submete o equipamento e o colaborador apresenta um valor aproximado de 0,003 mm.

Quanto à variação da peça (VP) sem a variação da medição estima-se que:

$$VP = 0,032 * K_3 = 0,01014 \text{ mm} \quad (\text{Equação 27})$$

Sendo,  $K_3 = \frac{1}{d_2}$  uma constante igual a 0,3146 para g=1 e m=10 peças utilizadas no estudo (ver Anexo B).

Após a determinação da variabilidade do equipamento e do colaborador pode-se comparar com a variação total do estudo. Desta forma, calculou-se a variação total (VT):

$$VT = \sqrt{0,003 + 0,01^2} = 0,01058 \text{ mm} \quad (\text{Equação 28})$$

### **Índices – Análise sobre a Variação Total (VT) em %**

Após a determinação de cada fator variável do sistema de medição vai-se comparar com a variação total (VT).

O valor percentual da repetibilidade (%VE), da reprodutibilidade (%VO) e variação da peça (%VP) em relação a variação total (VT) é dado por:

- $\%VE = 11,17\%$  (Equação 30)

- $\%VO = 26,30\%$  (Equação 31)

- $\%VP = 95,83\%$  (Equação 32)

O valor percentual do R&R é determinado pelas duas seguintes fórmulas:

1. com base na variação do processo.

$$\%R\&R = 100 * \left( \frac{0,00302}{0,01058} \right) = 28,57\% \quad (\text{Equação 33})$$

2. com base na tolerância de especificação.

$$VT = \frac{0,3}{6} = 0,05 \text{ mm} \quad (\text{Equação 29})$$

,logo a %R&R é dado por:

$$\%R\&R = 100 * \left( \frac{0,00302}{0,05} \right) = 6,04\% \quad (\text{Equação 33})$$

Os índices ou percentagens relativas à variação total calculadas anteriormente são analisados, de modo, a determinar se o sistema de medição testado é aceitável para o controlo dimensional do sistema produtivo.

### **Conclusão do estudo R&R para o Paquímetro**

Para concluir este estudo, os valores determinados para o R&R são analisados segundo a Tabela 5. A percentagem relativa determinada para o R&R com base na variação do processo é igual a 28,57 %, este valor está entre os 10% e os 30%, assim sendo, é aprovada condicionalmente e o sistema de medição deve ser aprovado pelo cliente. Pode-se concluir também que a presença do colaborador B no estudo proporcionou um resultado menos favorável, este colaborador apresentou mais variação no processo. Para contornar esta situação, o colaborador B que é o colaborador menos experiente necessita de mais formação no âmbito do controlo dimensional. Esta formação aos colaboradores levaria a uma melhoria na variação dos colaboradores (VO) melhorando o resultado do estudo R&R.

A percentagem relativa R&R com base na tolerância de especificação igual a 6,04% é um bom indicador e é recomendável. Estes fatos foram aprovados anteriormente no controlo estatístico do processo para a peça “*Trimplate-blank*”.

Por fim, é calculado o número de distintas categorias (ndc) que o equipamento apresenta com mais fiabilidade. O valor ndc é demonstrado na seguinte fórmula.



$$ndc = 1,41 * \left( 0,01014 / 0,00302 \right) = 4,7296 \approx 5 \quad (\text{Equação 34})$$

O valor de 5 categorias distintas, a partir da Figura 9 é um indicador que o paquímetro digital de 300 mm é um sistema de medição adequado para o controlo da qualidade e para análise do processo (DaimlerChrysler, et al, 2002).

## 6. CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido na Delphi abordou as necessidades da empresa numa colaboração para o desenvolvimento de um APQP do novo projeto de painéis de autorrádios Škoda 25, incluindo um plano de controlo, o controlo estatístico do processo e a análise dos sistemas de medição na área de injeção de plásticos.

Os procedimentos para o planeamento deste projeto (APQP) basearam-se nos manuais dos construtores de automóvel Chrysler Corporation, Ford Motor Company e General Motors Corporation. Estes correspondem simultaneamente aos métodos pretendidos pela empresa e estão de acordo com a certificação ISO/TS 16949.

A competitividade no sector automóvel, a redução de custos de produção e a melhoria na confiança dos produtos e processos são as possíveis vantagens que o APQP pode trazer na confiabilidade dos produtos aos seus clientes.

Desta forma, deu-se o início a um estudo de desempenho do processo da área de injeção numa fase de pré-produção. Com a presença de 10 peças injetadas de cada referência do produto final, foram retiradas as dimensões das características críticas e analisadas quanto à sua distribuição de valores. Os valores seguem uma distribuição normal verificada segundo o teste de Ryan-Joiner, posteriormente calculou-se o Pp e o Ppk de forma a demonstrar que o processo estava centrado e com capacidade de produzir peças dentro da especificação técnica requerida pelo cliente final.

Durante o estudo identifica-se um problema numa das referências do produto, onde se aponta que o desgaste do molde leva a uma produção de peças fora da tolerância de especificação. Este processo estava descentrado e sem capacidade. Na presença deste problema, o molde em questão foi retificado até estabilizar as dimensões da peça dentro da especificação requerida. Nas restantes referências do produto o processo apresenta-se com capacidade e com folga, contudo a existência de algumas referências apresentam um processo ligeiramente descentrado.

O plano de controlo para a área de injeção desenvolveu-se com base num plano de controlo, já existente na fábrica. No entanto foi necessário desenvolver um novo dispositivo de controlo funcional nas especificações técnica da peça *Trimplate – Blank* do produto final. Este plano de

controlo requer atenção ao *set-up* da máquina de injeção, visto que se houver falhas na sua preparação proporcionará defeitos na sua produção.

O controlo dimensional na área de injeção, limitados pelos limites de especificação, não controlava a variação do processo. Desta forma, estudou-se os dados recolhidos de modo a implementar os limites de controlo no processo. Os limites implementados representam-se através de gráficos X e s para todas as referências. Com a necessidade de ajustar o processo de injeção, devido a certos defeitos visuais, leva a novos cálculos de limites. De modo geral, os processos da fábrica encontram-se sob controlo estatístico.

Por fim, analisou-se o paquímetro digital de 300 mm, o dispositivo de medida para o controlo dimensional de certas peças injetadas. O estudo de R&R do paquímetro contou com os três operadores envolventes no controlo da qualidade das peças injetadas.

A fase inicial deste trabalho, os colaboradores testados tinham a dificuldade em utilizar adequadamente o instrumento de medição no mesmo ponto da peça. Esta situação proporcionava maior variação no sistema e resultados diferentes. Para contornar esta situação, foi inserido no plano de injeção uma imagem com o intuito de instruir todos os operadores responsáveis pelo controlo dimensional, de modo a operarem de forma similar.

Desta forma, recomeçou-se o teste e conclui-se que as peças apresentam alguma variação entre elas, como também diferenças entre os colaboradores em estudo. Como esperado o colaborador menos experiente apresenta mais variação no controlo dimensional da peça, necessitando de mais formação que os outros colaboradores. Além de apresentar alguma variação no processo, o paquímetro apresenta-se aceitável para o controlo dimensional deste processo.

As ferramentas associadas ao APQP, como o plano de controlo, CEP e MSA, contribuem para a obtenção de processos estáveis correspondendo aos requisitos dos clientes.

Apesar da utilização destas ferramentas e metodologias ser um requisito no sector automóvel, o autor considera que as mesmas podem ser aplicadas noutros sectores, principalmente na manufatura de produtos.

Assim, sugere-se como trabalho futuro a aplicação destas ferramentas e metodologias noutros sectores.

## **BIBLIOGRAFIA**

- ASQ (American Society for Quality), History of quality, disponível em: <http://asq.org/learn-about-quality/history-of-quality/overview/overview.html>, acessado em 10.01.2012;
- Barbosa, E. (2009), Nova ISO/TS 16949:2009 requisitos para aplicação, disponível em: [http://www.iga.org.br/webtest/artigo\\_exibe.asp?n=1013](http://www.iga.org.br/webtest/artigo_exibe.asp?n=1013), acessado em 16.01.2011;
- Bobrek, M., Sokovic, M. (2005), Implementation of APQP - Concept in design of QMS, Journal of Materials Processing Technology, pp. 162–163;
- Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation (1998), Quality System Requirements - QS-9000, 3.ª Edição;
- Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation (1995), Advanced Product Quality Planning (APQP) And Control Plan - Reference Manual;
- Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation (2005), Statistical Process Control (SPC);
- Cintra, W. (2005), Avaliação da Norma de Qualidade ISO/TS 16949:2002 através da Engenharia/Análise do Valor, General Motors do Brasil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo;
- DaimlerChrysler, Ford Motor, GM (2002), Measurement Systems Analysis, 3ª. Edição;
- Duret, D. e Pillet M. (2009), Qualidade na Produção da ISO 9000 aos Seis Sigma, Lidel – Edições Técnicas, Lda.;
- Feigenbaum, A. (1994), Total Quality Control, Copyright, McGraw-Hill, Inc;
- Hassan, A., Siadat, A., Dantan, J., Martin, P. (2009), Conceptual process planning—an improvement approach using QFD, FMEA, and ABC methods, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, pp. 392–401;
- Hoyle, D. (2005), Automotive Quality System Handbook – Incorporating ISO/TS 16949:2002, Elsevier Butterworth-Heinemann, disponível em: <http://www.google.pt/books/>, acessado em 19.01.2012;
- IATF (International Automotive Task Force) (2012), About the AITF, disponível em: <http://www.iatfglobaloversight.org/content.aspx?page=AboutIATF>, acessado em 18.01.2011;
- ISO 9000:2005 (Norma Portuguesa - Sistemas de gestão da qualidade, Fundamentos e vocabulário), Instituto Português da Qualidade;

- ISO 9001:2008 (Norma Portuguesa - Sistemas de gestão da qualidade, Requisitos particulares para a aplicação da ISO 9001:2000 à produção em série e de peças de manutenção na indústria automóvel), Instituto Português da Qualidade;
- Kartha, C.P. (2004), A comparison of ISO 9000:2000 quality system standards, QS9000, ISO-TS 16949 and Baldrige criteria, Emerald Group Publishing Limited, The TQM Magazine, Vol. 16, N.º.5, pp. 331–340;
- Lima, A. (2011), Sistemas de Gestão de Qualidade na Indústria Automóvel, disponível em: [http://www.dashofer.pt/qualidade/article/sistemas\\_de\\_gestao\\_de\\_qualidade\\_na\\_industria\\_automovel](http://www.dashofer.pt/qualidade/article/sistemas_de_gestao_de_qualidade_na_industria_automovel), acedido em 15.01.2012;
- Lopes, A. e Capricho, L. (2007), Gestão da Qualidade, Editora RH, 1ª Edição;
- MacGregor, J.F., Kourtl, T. (1995), Statistical Process Control Of Multivariate Processes, Copyright © 1995 Elsevier Science Ltd, Great Britain, Vol. 3, N.º. 3, pp. 403-414;
- Oakland, J. (2008), Statistical Process Control, 6ª Edição, Butterworth-Heinemann;
- Oliveira, J. (2004), Gráficos de controlo por variáveis, Dep. de Produção e Sistemas, Universidade do Minho;
- Oliveira, J. (2006), Repetibilidade e Reprodutibilidade, Universidade do Minho;
- Oliveira, J., Controlo de processo e dominâncias, Departamento de Produção e Sistemas, Universidade do Minho;
- Pillou, Jean-François (2004), Management par la qualité, disponível em: <http://www.commentcamarche.net/contents/qualite/management-qualite.php3>, acedido em 20.01.2012;
- Smith, Mr., McCrary, Dr., Callahan, Dr. (2007), Gauge Repeatability and Reproducibility Studies and Measurement System Analysis: A Multimethod Exploration of the State of Practice, Vol. 23, N.º 1, Journal of Industrial Technology;
- Thisse, L.C. (1998), Advanced Quality Planning - A Guide for Any Organization, Quality Process;
- Thompson, J., Koronacki, J., (2002), Statistical process control: the Deming paradigm and beyond, 2ª edição, Chapman & Hall/CRC.

# **ANEXOS**

### Anexo A – Tabela de Constantes para as Cartas de Controle (Manual SPC, 2005)

	Cartas $\bar{X}$ e R				Cartas $\bar{X}$ e s			
	Carta para Médias	Carta para Amplitudes (R)			Carta para Médias	Carta para Médias (R)		
	Fator dos Limites de Controle	Divisores para Estimativa $\sigma_X$	Fatores dos Limites de Controle		Fatores dos Limites de Controle	Divisores para Estimativa $\sigma_X$	Fatores dos Limites de Controle	
Tamanho do Subgrupo	A <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	A <sub>3</sub>	c <sub>4</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
2	1.880	1.128	—	3.267	2.659	0.7979	—	3.267
3	1.023	1.693	—	2.574	1.954	0.8862	—	2.568
4	0.729	2.059	—	2.282	1.628	0.9213	—	2.266
5	0.577	2.326	—	2.114	1.427	0.9400	—	2.089
6	0.483	2.534	—	2.004	1.287	0.9515	0.030	1.970
7	0.419	2.704	0.076	1.924	1.182	0.9594	0.118	1.882
8	0.373	2.847	0.136	1.864	1.099	0.9650	0.185	1.815
9	0.337	2.970	0.184	1.816	1.032	0.9693	0.239	1.761
10	0.308	3.078	0.223	1.777	0.975	0.9727	0.284	1.716
11	0.285	3.173	0.256	1.744	0.927	0.9754	0.321	1.679
12	0.266	3.258	0.283	1.717	0.886	0.9776	0.354	1.646
13	0.249	3.336	0.307	1.693	0.850	0.9794	0.382	1.618
14	0.235	3.407	0.328	1.672	0.817	0.9810	0.406	1.594
15	0.223	3.472	0.347	1.653	0.789	0.9823	0.428	1.572
16	0.212	3.532	0.363	1.637	0.763	0.9835	0.448	1.552
17	0.203	3.588	0.378	1.622	0.739	0.9845	0.466	1.534
18	0.194	3.640	0.391	1.608	0.718	0.9854	0.482	1.518
19	0.187	3.689	0.403	1.597	0.698	0.9862	0.497	1.503
20	0.180	3.735	0.415	1.585	0.680	0.9869	0.510	1.490
21	0.173	3.778	0.425	1.575	0.663	0.9876	0.523	1.477
22	0.167	3.819	0.434	1.566	0.647	0.9882	0.534	1.466
23	0.162	3.858	0.443	1.557	0.633	0.9887	0.545	1.455
24	0.157	3.895	0.451	1.548	0.619	0.9892	0.555	1.445
25	0.153	3.931	0.459	1.541	0.606	0.9896	0.565	1.435

## Anexo B – Valores Associados com a Distribuição para as Amplitudes das Médias ( $d_2$ )

		Tamanho do Subgrupo (m)																		
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Número de Subgrupos (g)	1	1.0	2.0	2.9	3.8	4.7	5.5	6.3	7.0	7.7	8.3	9.0	9.6	10.2	10.8	11.3	11.9	12.4	12.9	13.4
	2	1.41421	1.91155	2.23887	2.48124	2.67253	2.82981	2.96288	3.07794	3.17905	3.26909	3.35016	3.42378	3.49116	3.55333	3.61071	3.66422	3.71424	3.76118	3.80537
	3	1.27931	1.80538	2.15069	2.40484	2.60438	2.76779	2.90562	3.02446	3.12869	3.22134	3.30463	3.38017	3.44922	3.51287	3.57156	3.62625	3.67734	3.72524	3.77032
	4	2.8	5.7	8.4	11.1	13.6	16.0	18.3	20.5	22.6	24.6	26.5	28.4	30.1	31.9	33.5	35.1	36.7	38.2	39.7
	5	1.23105	1.76858	2.12049	2.37883	2.58127	2.74681	2.88628	3.00643	3.11173	3.20526	3.28931	3.36550	3.43512	3.49927	3.55842	3.61351	3.66495	3.71319	3.75857
	6	3.7	7.5	11.2	14.7	18.1	21.3	24.4	27.3	30.1	32.7	35.3	37.7	40.1	42.4	44.6	46.7	48.8	50.8	52.8
	7	1.20621	1.74989	2.10522	2.36571	2.56964	2.73626	2.87656	2.99737	3.10321	3.19720	3.28163	3.35815	3.42805	3.49246	3.55183	3.60712	3.65875	3.70715	3.75268
	8	4.6	9.3	13.9	18.4	22.6	26.6	30.4	34.0	37.5	40.8	44.0	47.1	50.1	52.9	55.7	58.4	61.0	63.5	65.9
	9	1.19105	1.73857	2.09601	2.35781	2.56263	2.72991	2.87071	2.99192	3.09808	3.19235	3.27701	3.35372	3.42381	3.48836	3.54787	3.60328	3.65502	3.70352	3.74914
	10	5.5	11.1	16.7	22.0	27.0	31.8	36.4	40.8	45.0	49.0	52.8	56.5	60.1	63.5	66.8	70.0	73.1	76.1	79.1
	11	1.18083	1.73099	2.08985	2.35253	2.55795	2.72567	2.86800	2.98829	3.09467	3.18911	3.27392	3.35077	3.42097	3.48563	3.54522	3.60072	3.65253	3.70109	3.74678
	12	6.4	12.9	19.4	25.6	31.5	37.1	42.5	47.6	52.4	57.1	61.6	65.9	70.0	74.0	77.9	81.6	85.3	88.8	92.2
	13	1.17348	1.72555	2.08543	2.34875	2.55460	2.72263	2.86401	2.98568	3.09222	3.18679	3.27172	3.34866	3.41894	3.48368	3.54333	3.59888	3.65075	3.69936	3.74509
	14	7.2	14.8	22.1	29.2	36.0	42.4	48.5	54.3	59.9	65.2	70.3	75.2	80.0	84.6	89.0	93.3	97.4	101.4	105.3
	15	1.16794	1.72147	2.08212	2.34591	2.55208	2.72036	2.86192	2.98373	3.09039	3.18506	3.27006	3.34708	3.41742	3.48221	3.54192	3.59751	3.64941	3.69806	3.74382
	16	8.1	16.6	24.9	32.9	40.4	47.7	54.5	61.1	67.3	73.3	79.1	84.6	90.0	95.1	100.1	104.9	109.5	114.1	118.5
	17	1.16361	1.71828	2.07953	2.34370	2.55013	2.71858	2.86028	2.98221	3.08896	3.18370	3.26878	3.34585	3.41624	3.48107	3.54081	3.59644	3.64838	3.69705	3.74284
	18	9.0	18.4	27.6	36.5	44.9	52.9	60.6	67.8	74.8	81.5	87.9	94.0	99.9	105.6	111.2	116.5	121.7	126.7	131.6
	19	1.16014	1.71573	2.07746	2.34192	2.54856	2.71717	2.85898	2.98100	3.08781	3.18262	3.26775	3.34486	3.41529	3.48016	3.53993	3.59559	3.64755	3.69625	3.74205
	20	9.9	20.2	30.4	40.1	49.4	58.2	66.6	74.6	82.2	89.6	96.6	103.4	109.9	116.2	122.3	128.1	133.8	139.4	144.7
	21	1.15729	1.71363	2.07577	2.34048	2.54728	2.71600	2.85791	2.98000	3.08688	3.18174	3.26690	3.34406	3.41452	3.47941	3.53921	3.59489	3.64687	3.69558	3.74141
	22	10.7	22.0	33.1	43.7	53.8	63.5	72.6	81.3	89.7	97.7	105.4	112.7	119.9	126.7	133.3	139.8	146.0	152.0	157.9
	23	1.15490	1.71189	2.07436	2.33927	2.54621	2.71504	2.85702	2.97917	3.08610	3.18100	3.26620	3.34339	3.41387	3.47879	3.53861	3.59430	3.64630	3.69503	3.74087
	24	11.6	23.8	35.8	47.3	58.3	68.7	78.6	88.1	97.1	105.8	114.1	122.1	129.8	137.3	144.4	151.4	158.1	164.7	171.0
	25	1.15289	1.71041	2.07316	2.33824	2.54530	2.71422	2.85627	2.97847	3.08544	3.18037	3.26561	3.34282	3.41333	3.47826	3.53810	3.59381	3.64582	3.69457	3.74041
	26	12.5	25.7	38.6	51.0	62.8	74.0	84.7	94.9	104.6	113.9	122.9	131.5	139.8	147.8	155.5	163.0	170.3	177.3	184.2
	27	1.15115	1.70914	2.07213	2.33737	2.54452	2.71351	2.85562	2.97787	3.08487	3.17984	3.26510	3.34233	3.41286	3.47781	3.53766	3.59339	3.64541	3.69417	3.74002
	28	13.4	27.5	41.3	54.6	67.2	79.3	90.7	101.6	112.1	122.1	131.7	140.9	149.8	158.3	166.6	174.6	182.4	190.0	197.3
	29	1.14965	1.70804	2.07125	2.33661	2.54385	2.71290	2.85506	2.97735	3.08438	3.17938	3.26465	3.34191	3.41245	3.47742	3.53728	3.59302	3.64505	3.69382	3.73969
	30	14.3	29.3	44.1	58.2	71.7	84.5	96.7	108.4	119.5	130.2	140.4	150.2	159.7	168.9	177.7	186.3	194.6	202.6	210.4
	31	1.14833	1.70708	2.07047	2.33594	2.54326	2.71237	2.85457	2.97689	3.08395	3.17897	3.26427	3.34154	3.41210	3.47707	3.53695	3.59270	3.64474	3.69351	3.73939
	32	15.1	31.1	46.8	61.8	76.2	89.8	102.8	115.1	127.0	138.3	149.2	159.6	169.7	179.4	188.8	197.9	206.7	215.2	223.6
	33	1.14717	1.70623	2.06978	2.33535	2.54274	2.71190	2.85413	2.97649	3.08358	3.17861	3.26393	3.34121	3.41178	3.47677	3.53666	3.59242	3.64447	3.69325	3.73913
	34	16.0	32.9	49.5	65.5	80.6	95.1	108.8	121.9	134.4	146.4	157.9	169.0	179.7	190.0	199.9	209.5	218.8	227.9	236.7
	35	1.14613	1.70547	2.06917	2.33483	2.54228	2.71148	2.85375	2.97613	3.08324	3.17829	3.26362	3.34092	3.41150	3.47650	3.53640	3.59216	3.64422	3.69301	3.73890
	36	16.9	34.7	52.3	69.1	85.1	100.3	114.8	128.7	141.9	154.5	166.7	178.4	189.6	200.5	211.0	221.1	231.0	240.5	249.8
	37	1.14520	1.70480	2.06862	2.33436	2.54187	2.71111	2.85341	2.97581	3.08294	3.17801	3.26335	3.34066	3.41125	3.47626	3.53617	3.59194	3.64400	3.69280	3.73869
	38	17.8	36.5	55.0	72.7	89.6	105.6	120.9	135.4	149.3	162.7	175.5	187.8	199.6	211.0	222.1	232.8	243.1	253.2	263.0
	39	1.14437	1.70419	2.06813	2.33394	2.54149	2.71077	2.85310	2.97552	3.08267	3.17775	3.26311	3.34042	3.41103	3.47605	3.53596	3.59174	3.64380	3.69260	3.73850
$d_2$		1.12838	1.69257	2.05875	2.32593	2.53441	2.70436	2.8472	2.97003	3.07751	3.17287	3.25846	3.33598	3.40676	3.47193	3.53198	3.58788	3.64006	3.68896	3.735
cd		0.876	1.815	2.738	3.623	4.4658	5.2673	6.0305	6.7582	7.4539	8.1207	8.7602	9.3751	9.9679	10.5396	11.0913	11.6259	12.144	12.6468	13.1362

\*retirado do Manual MSA 4ª Edição



## Anexo C – Plano de Controlo

[illegible]

**Figura 42 – Estrutura do plano de controlo, baseado em Chrysler Corporation, et al, 1995**

**Tabela 20 – Parte do plano de controlo (Área de injeção)**

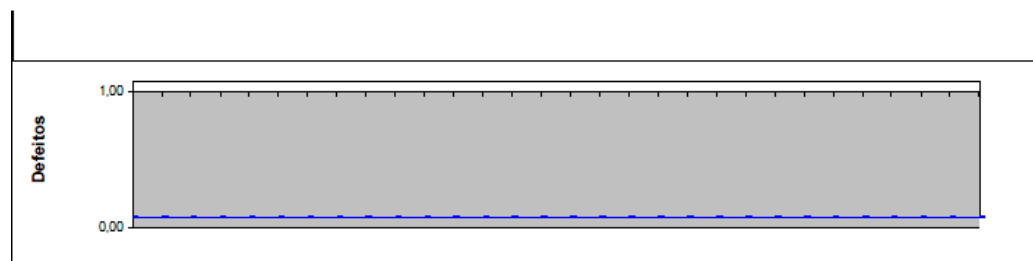
Número de Processo	Nome Operação / Descrição da operação	Máquina, Dispositivo, Calibre, Ferramenta	Características		Classificação de característica especial	Métodos				Plano de Reação
			Produto	Controlo do processo		Produto / Especificação de controlo/ Tolerância	Avaliação da Técnica de Medição	Tamanho Amostra/ Frequência	Método de Controlo	
IM20	Preparação da Produção	Máquina & Definição molde	N/A	Preparação de parâmetros	N/A	"Ficha de Afiinação"	Visual	Iniciar e Reiniciar	"Check – list" para mudança de série. "Reinício de Série"	Segregar materiais, chamar o supervisor da operação
	Preparação do Produto	N/A	Defeitos visuais: Marcas, contaminação, bolhas, linhas de solda, riscos...	N/A	N/A	"Plano de Inspeção"	Visual	Ver "Plano de Inspeção"	Registo do Controlo por Atributos (Anexo C)	
		Paquímetro; Micrómetro	Dimensional	N/A	N/A	"Plano de Inspeção"	Manual	Ver "Plano de Inspeção"	Carta de Controlo Dimensional (Anexo D)	
		Calibre de Controlo (Jig2)	Controlo funcional	N/A	N/A	"Plano de Inspeção"	Manual	Ver "Plano de Inspeção"	Registo do Controlo por Atributos (Anexo C)	
	Séries de Produção do Produto	N/A	Defeitos visuais: Marcas, contaminação, bolhas, linhas de solda, riscos...	N/A	N/A	"Plano de Inspeção"	Visual	Ver "Plano de Inspeção"	Registo do Controlo por Atributos (Anexo C)	
		Paquímetro; Micrómetro	Dimensional	N/A	N/A	"Plano de Inspeção"	Manual	Ver "Plano de Inspeção"	Carta de Controlo Dimensional (Anexo D)	
	Fim de Produção do Produto	N/A	Defeitos visuais: Marcas, contaminação, bolhas, linhas de solda, riscos...	N/A	N/A	"Plano de Inspeção"	Visual	Ver "Plano de Inspeção"	Registo do Controlo por Atributos (Anexo C)	
		Paquímetro; Micrómetro	Dimensional	N/A	N/A	"Plano de Inspeção"	Manual	Ver "Plano de Inspeção"	Carta de Controlo Dimensional (Anexo D)	

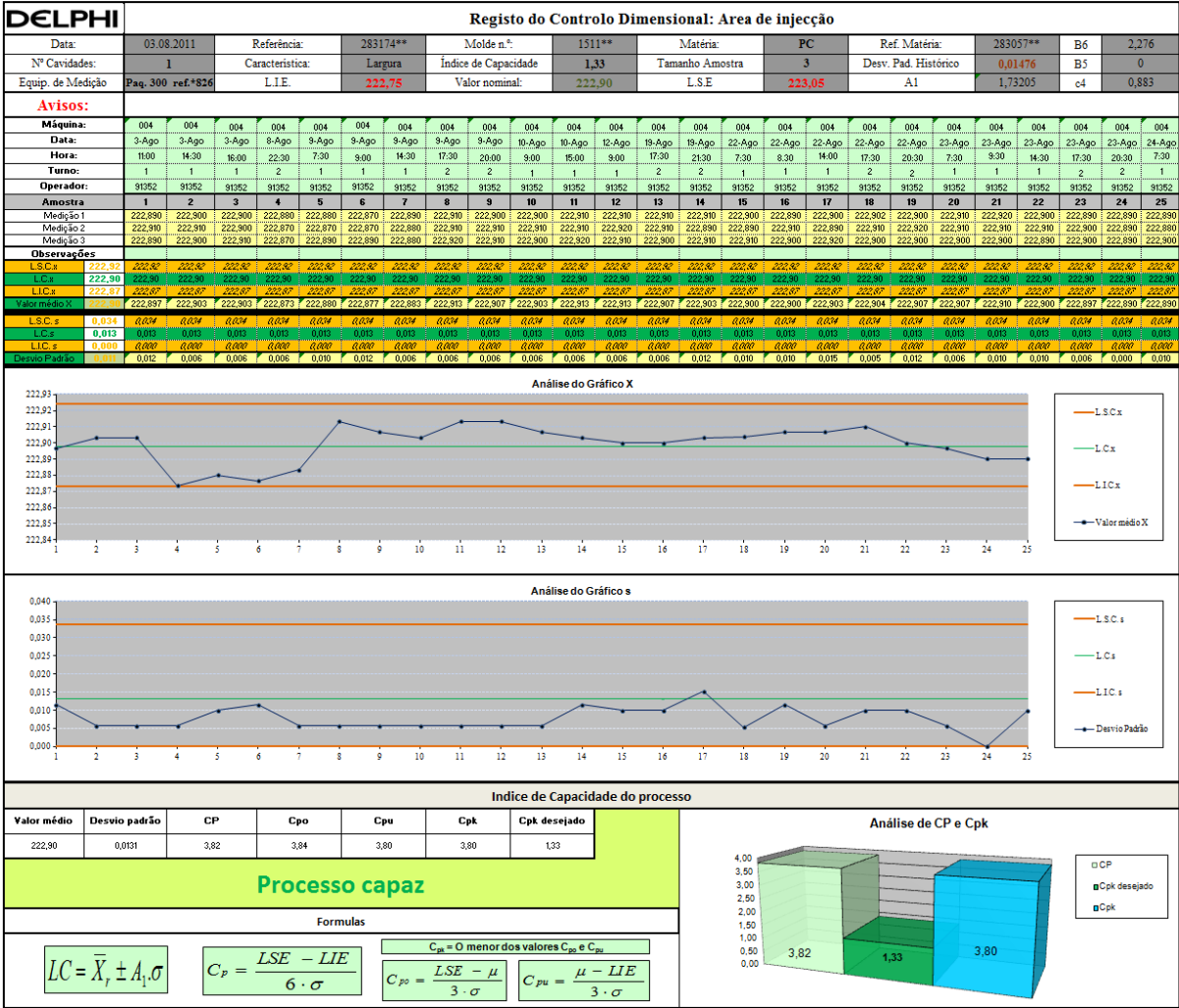
## Anexo D – Plano de Injeção

[illegible]

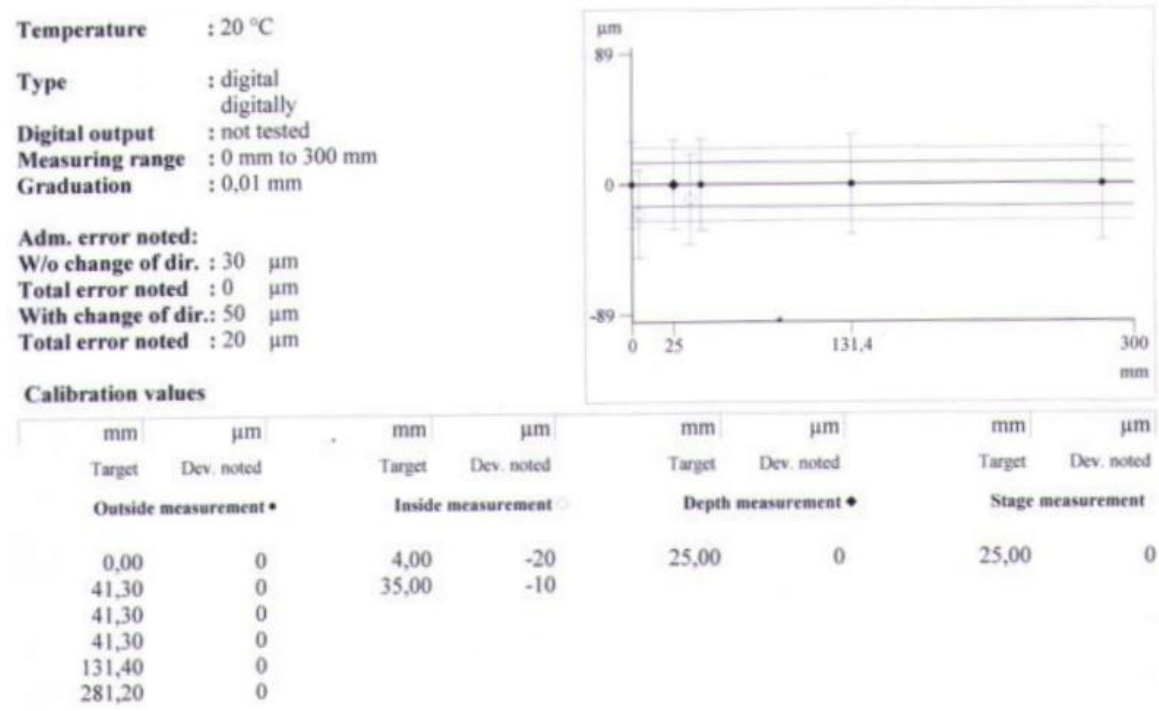
### Anexo E – Registo do Controlo por Atributos

		Registo de Controlo de Atributos: Area de injeção																														
Referência:												Molde n.º:																				
Desenho n.º:												Matéria:																				
Índice do desenho:																																
Requisitos de Segurança:																																
Característica:		Atributos		N.º de amostras:		1 injeção																										
Máq.																																
Data:																																
Hora:																																
Resp.:																																
Cav. 1																																
Cav. 2																																
Cav. 3																																
Cav. 4																																
Cav. 5																																
Cav. 6																																
Cav. 7																																
Cav. 8																																
Máx.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Obs.:																																
Nota:	Colocar 0 se não existirem defeitos de acordo com o plano de inspeção e colocar 1 se aparecerem defeitos. Nas observações especificar os defeitos.																															





**Anexo G – Relatório de Calibração do Paquímetro Digital de 300 mm**



## Anexo H – Estudo de R&R para o Paquímetro Digital

Referência do Produto: .....	Designação do Produto: <b>TRIMPLATE SK25 LOW</b>											
Característica Controlada: <b>Dimensão 222,90 mm</b>	Especificação: <b>222,9</b>							Toletância: <b>0,300</b>				
Equipamento Utilizado: <b>Paquímetro - Mitutoyo 0,01 - 300mm</b>	Código do Equipamento: .....											
Responsável pelo Estudo: <b>Jorge Novo</b>								Data: <b>03-10-2011</b>				
<b>Dados dos colaboradores em estudo</b>												
Colaboradores em Estudo [A]: <b>Vânia</b>								Depto / Turno: <b>Qual/1</b>				
Colaboradores em Estudo [B]: <b>Luis</b>								Depto / Turno: <b>Prod/1</b>				
Colaboradores em Estudo [C]: <b>José</b>								Depto / Turno: <b>Prod/2</b>				
<b>Recomendações para a recolha de dados</b>												
- Reunir 10 amostras que representem toda a amplitude de variação admissível da característica controlada. - Numerar as amostras de maneira não visível aos colaboradores em estudo. - O Equipamento utilizado deve estar calibrado. - Dispor as amostras de forma aleatória para medição pelo 1º colaborador em estudo. - O colaborador deve realizar 3 medições de cada amostra, sendo que a sequência de medição deve ser diferente em cada ciclo de medição. - Anotar os resultados na Tabela abaixo. - Realizar o mesmo processo com os demais colaboradores em estudo, lembrando que a sequência de medição das amostras deve ser a mesma para todos. - Avaliar os resultados obtidos na folha de Resultados.												
<b>Tabela de recolha de dados</b>												
Colaborador A	Nº Amostras										Média Colaborador A	Amplitude Colaborador A
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1ª Medição	222,94	222,94	222,92	222,93	222,94	222,92	222,93	222,94	222,92	222,93	222,931	0,020
2ª Medição	222,94	222,94	222,92	222,93	222,94	222,92	222,93	222,94	222,92	222,93	222,931	0,020
3ª Medição	222,94	222,94	222,92	222,93	222,94	222,92	222,93	222,94	222,92	222,93	222,932	0,020
Média Colaborador A [Xa]	222,940	222,940	222,920	222,930	222,940	222,920	222,933	222,940	222,920	222,930	222,931	0,020
Amplitude Colaborador A [Ra]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,001	0,010
<b>Tabela de recolha de dados</b>												
Colaborador B	Nº Amostras										Média Colaborador B	Amplitude Colaborador B
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1ª Medição	222,94	222,94	222,92	222,92	222,94	222,90	222,94	222,93	222,92	222,92	222,927	0,040
2ª Medição	222,94	222,94	222,93	222,92	222,93	222,90	222,94	222,93	222,92	222,92	222,927	0,040
3ª Medição	222,94	222,93	222,93	222,92	222,94	222,90	222,94	222,93	222,93	222,92	222,928	0,040
Média Colaborador B [Xb]	222,940	222,937	222,927	222,920	222,937	222,900	222,940	222,930	222,923	222,920	222,927	0,040
Amplitude Colaborador B [Rb]	0,000	0,010	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,004	0,010
<b>Tabela de recolha de dados</b>												
Colaborador C	Nº Amostras										Média Colaborador C	Amplitude Colaborador C
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1ª Medição	222,93	222,95	222,93	222,94	222,93	222,91	222,94	222,94	222,92	222,94	222,933	0,040
2ª Medição	222,93	222,95	222,93	222,94	222,93	222,91	222,94	222,94	222,92	222,94	222,933	0,040
3ª Medição	222,93	222,95	222,93	222,94	222,93	222,91	222,93	222,94	222,92	222,94	222,932	0,040
Média Colaborador C [Xc]	222,930	222,950	222,930	222,940	222,930	222,910	222,937	222,940	222,920	222,940	222,933	0,040
Amplitude Colaborador [Rc]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,001	0,010
<b>Tabela de recolha de dados</b>												
Média por Amostra [Xp]	222,937	222,942	222,926	222,930	222,936	222,910	222,937	222,937	222,921	222,930	222,930	
Amplitude das Médias [Rp]	0,010	0,013	0,010	0,020	0,010	0,020	0,007	0,010	0,003	0,020	0,032	

**Figura 43 – Recolha de dados**

Referência do Produto: .....	Designação do Produto: <b>TRIMPLATE SK25 LOW</b>		
Característica Controlada: <b>Dimensão 222,90 mm</b>	Especificação: <b>222,9</b>	Toletância: <b>0,300</b>	
Equipamento Utilizado: <b>Paquímetro - Mitutoyo 0,01 - 300mm</b>	Código do Equipamento: .....		
Responsável pelo Estudo: <b>Jorge Novo</b>	Data: <b>03-10-2011</b>		
<b>Dados dos colaboradores em estudo</b>			
Colaboradores em Estudo [A]: <b>Vânia</b>	Depto / Turno: <b>Qual/1</b>		
Colaboradores em Estudo [B]: <b>José</b>	Depto / Turno: <b>Prod/1</b>		
Colaboradores em Estudo [C]: <b>Luis</b>	Depto / Turno: <b>Prod/2</b>		
<b>Tabela de Cálculos</b>			
$\bar{X}_a = 222,93133$ $\bar{X}_b = 222,92733$ $\bar{X}_c = 222,93267$ $\bar{X}_p = 222,93044$	$R_a = 0,00100$ $R_b = 0,00400$ $R_c = 0,00100$ $R_p = 0,03222$	$R = 0,00200$ $\bar{X}_{DIF} = 0,00533$ $D_4 = 2,58000$ $LSC_R = 0,00516$	$K_1 = 0,5908$ $K_2 = 0,5231$ $K_3 = 0,3146$
		$Tolerância = 0,3$	
<b>Análise da Medição</b>		<b>% Sobre a Variação Total [TV]</b>	
<b>Repetibilidade - Variação do Equipamento [EV]</b>			
$EV = R * K_1$  $EV = 0,00118$		$\%EV = 100 * (EV/TV)$ $\%EV = 11,17\%$	
<b>Reprodutibilidade - Variação do Colaborador [AV]</b>			
$AV = \text{Raiz}(\bar{X}_{DIF}^2 * K_2^2 - (EV^2/(n * r)))$ $n = N^\circ \text{ de Amostras}$ $r = N^\circ \text{ de Repetições}$  $AV = 0,00278$		$\%AV = 100 * (AV/TV)$ $\%AV = 26,30\%$	
<b>Repetibilidade &amp; Reprodutibilidade [R&amp;R]</b>			
$R\&R = \text{Raiz}(EV^2 + AV^2)$  $R\&R = 0,00302$		$\%R\&R = 100 * (R\&R/TV)$ $\%R\&R = 28,57\%$ com base na variação do processo.  $\%R\&R = 100 * (R\&R/(1/6 * Tol))$ $\%R\&R = 6,04\%$ com base na tolerância.	
<b>Variação das Amostras [PV]</b>			
$PV = R_p * K_3$  $PV = 0,01014$		$\%PV = 100 * (PV/TV)$ $\%PV = 95,83\%$	
<b>Variação Total [TV]</b>			
$TV = \text{Raiz}(GRR^2 + PV^2)$  $TV = 0,01058$		$ndc = 1.41 * (PV/GRR)$ $ndc = 4,72962$ $\sim ndc = 5$	

**Figura 44 – Análise das medições**